

Trabalho de Conclusão de Curso

Caracterização morfométrica e hidrológica da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, Florianópolis – SC

Felipe Bublitz Bier



Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E HIDROLÓGICA DA
BACIA HIDROGRÁFICA DA LAGOA DA CONCEIÇÃO,
FLORIANÓPOLIS – SC.**

Felipe Bublitz Bier

**FLORIANÓPOLIS (SC)
AGOSTO 2013**

FELIPE BUBLITZ BIER

**CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E HIDROLÓGICA DA
BACIA HIDROGRÁFICA DA LAGOA DA CONCEIÇÃO,
FLORIANÓPOLIS – SC.**

Trabalho submetido à Banca Examinadora
como parte dos requisitos para Conclusão do
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária
e Ambiental. – TCC II.

Orientador: Prof. Dr. Davide Franco

Co-Orientador: M. eng. Luis Felipe Rissetti Odreski

**FLORIANÓPOLIS (SC)
AGOSTO 2013**

BIER, Felipe Bublitz.

Caracterização morfométrica e hidrológica da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, Florianópolis – SC.

Felipe Bublitz Bier – Florianópolis, 2013.

115 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Morphometric and hydrological characterization of the Lagoa da Conceição's watershed, Florianópolis– SC

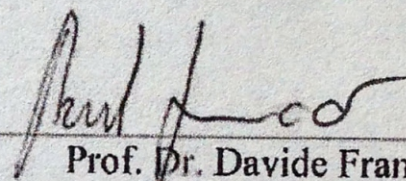
1- Hidrologia. 2- Hidrogeologia. 3- Geomorfologia.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL**

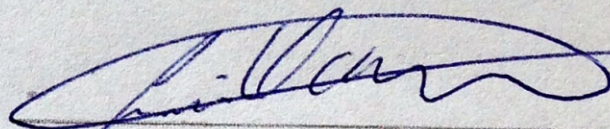
**CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E HIDROLÓGICA DA
BACIA HIDROGRÁFICA DA LAGOA DA CONCEIÇÃO,
FLORIANÓPOLIS – SC.**

FELIPE BUBLITZ BIER

Trabalho submetido à Banca Examinadora
como parte dos requisitos para Conclusão do
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária
e Ambiental. – TCCII.

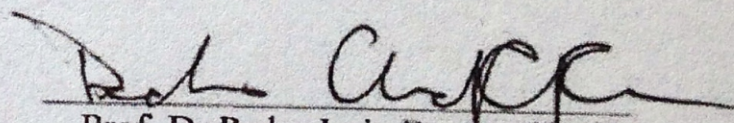


**Prof. Dr. Davide Franco
Orientador**

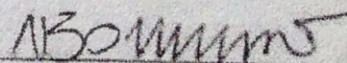


**M.Eng. Luis Felipe Rissetti Odreski
Co-Orientador**

Banca Examinadora:



**Prof. Dr. Pedro Luiz Borges Chaffe
Membro da Banca**



**Prof. Dr. Nadia Bernardi Bonumá
Membro da Banca**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
AGOSTO/2013**

Trabalho dedicado à minha falecida avó, Rosa Maria, que me mostrou e inspirou a levar uma vida leve e a valorizar o bom humor e as coisas simples da vida.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Davide, pela paciência, tempo dedicado, pelo espaço cedido dentro do Laboratório de Hidráulica Marítima (LAHIMAR) e pelas diversas discussões, as quais tornaram possível a realização deste trabalho e que também auxiliaram na minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

Aos colegas e amigos da graduação e do LAHIMAR, que tanto nos momentos de dúvida e dificuldade, como nos de conquistas e felicidade sempre estiveram presentes; em especial aos amigos Luis Felipe Odreski e Tiago Siegle que me auxiliaram durante o desenvolvimento deste trabalho.

À minha namorada Letícia Debiasi pelo companheirismo e carinho; por me fazer sorrir mesmo após passar por momentos difíceis e por me fazer acreditar que sempre podemos ir em busca de nossos sonhos.

À minha mãe, Carla Valéria, e meu pai Gerson Armando, por serem meus exemplos de vida, de dedicação e de honestidade; e por me criarem da melhor maneira possível, dando condições para chegar até aqui e seguir adiante.

Aos meus irmãos, Marcelo e Rafael, pelo companheirismo e por serem, além de familiares, meus melhores amigos.

Aos demais membros da família por todo carinho e apoio durante estes longos anos, principalmente aos meus Avós Carlos Guilherme, Maria Solange, Cláudio Enir e Rosa Maria.

Aos amigos de infância, que mesmo não estando diariamente presentes nos dias de hoje, sempre me deram forças para continuar lutando.

Aos demais professores do departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental que se empenharam na transmissão do conhecimento durante toda graduação.

“A Grande Conquista é o resultado de pequenas vitórias que
passam despercebidas”
(Paulo Coelho)

RESUMO

BIER, F. B. Caracterização morfométrica e hidrológica da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, Florianópolis – SC. Florianópolis, 2013, 115 p., Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

Para a estimativa do comportamento da Lagoa da Conceição em resposta aos fenômenos hidrológicos em que ela é submetida, se faz necessário um estudo geomorfológico detalhado da bacia hidrográfica.

Sendo assim, pretende-se com este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) identificar as principais características físicas e hidrográficas do local, realizando a delimitação e segmentação do terreno em sub-bacias e gerando a rede de drenagem da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, juntamente com uma análise estatística sobre os parâmetros analisados com a finalidade de agrupar as sub-bacias em regiões homogêneas, que possam representar um grupo de sub-bacias como um todo.

Este trabalho também aborda um estudo quantitativo de como a bacia hidrográfica se comporta com diferentes eventos de precipitação, analisando o escoamento superficial baseado nos métodos CN (*Curve Number*) e SCS (*Soil Conservation Service*). Para tanto foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto com o auxílio das ferramentas computacionais, em Sistema de Informação Geográfica (SIG), ArcGIS versão 10 e HEC-GeoHMS versão 5.0.

Foi possível obter os parâmetros necessários para fazer a divisão detalhada da área de captação em sub-bacias, facilitando a determinação das características da área de drenagem responsáveis pelo aporte ao corpo lagunar, gerando dessa maneira subsídios para compreender o comportamento da bacia hidrográfica atualmente, para a gestão e planejamento e servindo de base para futuros estudos no local.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica. Geoprocessamento. Parâmetros hidrológicos. Escoamento superficial.

ABSTRACT

BIER, F. B. Morphometric and hydrological characterization of Lagoa da Conceição watershed, Florianópolis – SC. Florianópolis, 2013, 115 p., Final Graduation Project - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

To estimate the behavior of Lagoa da Conceição in response to hydrological phenomena in which it is submitted, it is necessary a detailed geomorphological study concerning the watershed.

Thun, this Final Graduation Project (TCC) intends to present the identification of the parameters physical and hydrographic, delineation the area in sub-watersheds and generation of the drainage network of the basin of Lagoa da Conceição, as well as a statistical analysis of the parameters evaluated in order to regroup the sub-basins in homogeneous regions if similar characteristics.

This project also discusses a quantitative study of how the watershed behaves with different precipitation events, runoff analyzing method based on CN (Curve Number) and SCS (Soil Conservation Service). Therefore, we used remote sensing techniques in Geographic Information System (GIS) with the help of computational tools, ArcGIS version 10 and HEC-GeoHMS version 5.0.

In that way it was possible to obtain the parameters needed to make the detailed division of the catchment into sub-basins, facilitating the determination of the characteristics of the drainage area responsible for contributing to the lagoon, thus generating subsidies for understanding the behavior of the watershed currently for the management and planning, and also providing the basis for future studies on that place.

Keywords: Watershed, Geoprocessing, Hydrological Parameters, Surface flow.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema do Ciclo Hidrológico.-----	34
Figura 2: Medidas de comprimento em uma Bacia Hidrográfica. -----	37
Figura 3: Hierarquização fluvial segundo Método de Strahler. -----	38
Figura 4: Exemplo de interpretação do Coeficiente de Forma (K_f).----	40
Figura 5: Representação esquemática das funções do método da <i>Curve-Number</i> .-----	45
Figura 6: Localização da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição --	53
Figura 7: Fluxograma da Metodologia. -----	58
Figura 8: Mapa altimétrico das sub-bacias João Gualberto e Rio Vermelho. -----	61
Figura 9: Mapa da hidrografia das sub-bacias João Gualberto e Rio Vermelho. -----	62
Figura 10: Mapa de hidrografia da Lagoa da Conceição. -----	63
Figura 11: Mapa com os tipos de solos da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição. -----	64
Figura 12: Mapa com o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição. -----	65
Figura 13: Fluxograma das etapas no geoprocessamento dos dados. --	66
Figura 14: Delineamento preliminar das sub-bacias feito pelo geoprocessamento no ArcGIS (esquerda) e a correção manual (direita). -----	69
Figura 15: Pontos descarga na laguna, observados visualmente e georeferenciados por GPS no trabalho de LAURENTI (2009).-----	71
Figura 16: Modelo Digital de Elevação (MDE) da bacia hidrográfica.	75
Figura 17: Segmentação preliminar da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição em sub-bacias (esquerda) e o delineamento das sub-bacias após edição manual (direita). -----	76
Figura 18: Mapa das sub-bacias da Lagoa da Conceição com suas respectivas linhas de drenagem e exutória. -----	77
Figura 19: Enumeração das sub-bacias da Lagoa da Conceição. -----	78
Figura 20: Seção norte da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição com a classificação dos segmentos dos rios em suas respectivas ordens. ---	79
Figura 21: Seção sul da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição com a classificação dos segmentos dos rios em suas respectivas ordens. -----	80

Figura 22: HierarquiaFluvial – Método de Strahler. -----	81
Figura 23: Classificação das sub-bacias de acordo com a constância dos rio. -----	83
Figura 24: Zoneamento da bacia hidrográfica obtidas no geoprocessamento pré-agrupamento. -----	97
Figura 25: Sub-bacias obtidas com o geoprocessamento (esquerda) e agrupamento das sub-bacias após análise de suas características (direita). -----	100
Figura 26: Zoneamento da bacia hidrográfica após agrupamento das sub- bacias. -----	102
Figura 27: Legenda da setorização da bacia hidrográfica. -----	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros morfométricos.-----	50
Tabela 2: Parâmetros hidrológicos.-----	52
Tabela 4: Hierarquização de rios das sub-bacias João Gualberto e Rio Vermelho segundo Strahler. -----	82
Tabela 5: Valores para os parâmetros hidrológicos CN, S e I _a . -----	85
Tabela 6: Escoamento Superficial em condições normais de umidade (CN II). -----	85
Tabela 7: Volume escoado na superfície em condições normais de umidade (CN II). -----	86
Tabela 8: Legenda dos parâmetros físicos e hidrológicos. -----	87
Tabela 9: Dados estatísticos dos parâmetros físicos encontrados para as 60 sub-bacias.-----	88
Tabela 10: Dados estatísticos dos parâmetros hidrológicos encontrados para as 60 sub-bacias. -----	89
Tabela 11: Relação não-paramétrica entre os parâmetros analisados, desenvolvida com o programa Statistica 8. -----	91
Tabela 12: Dados utilizados na setorização das 60 sub-bacias da Lagoa da Conceição obtidas no geoprocessamento. -----	96
Tabela 13: Sub-bacias antes e depois de realizar o agrupamento. -----	99
Tabela 14: Dados utilizados na setorização das sub-bacias da Lagoa da Conceição após o agrupamento das mesmas. -----	101

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Valores de ordem de rios segundo metodologia de Strahler.	82
Gráfico 2: Distribuição de área das sub-bacias de acordo com a constância de rios.	84
Gráfico 3: Volume escoado superficialmente em condições normais de umidade (CN II) para uma precipitação constante de 200 mm.	86
Gráfico 4: Área x Perímetro.	92
Gráfico 5: Comprimento do rio principal e declividade média do talude.	93
Gráfico 6: Área de cada sub-bacias, em km ² , após realizado o agrupamento.	110
Gráfico 7: Ocupação Urbana em porcentagem para cada uma das 36 sub-bacias após realizado o agrupamento.	110
Gráfico 8: Coeficiente Curve-Number (CN _{II}) para cada uma das 36 sub-bacias após realizado o agrupamento.	111
Gráfico 9: Coeficiente de Retenção Potencial Máxima (S _{II}) para cada uma das 36 sub-bacias após realizado o agrupamento.	111
Gráfico 10: Tempo de Concentração (t _c), em minutos, para cada uma das 36 sub-bacias após realizado o agrupamento.	112
Gráfico 11: Declividade média do talvegue (S _{tv}), em minutos, para cada uma das 36 sub-bacias após realizado o agrupamento.	112
Gráfico 12: Escoamento Superficial para condição CN _{II} e após um evento de Precipitação constante de 200 mm,	113
Gráfico 13: Escoamento Superficial para condição CN _{II} e Precipitação constante de 200 mm com duração de 1h.	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ESRI – Environmental Systems ResearchInstitute

GPS – Global Positioning System

HEC – Hydrologic Engineering Center

HMS – HydrologicModeling System

IPUF – Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis

SIG – Sistema de Informação Geográfica

LAHIMAR – Laboratório de Hidráulica Marítima

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

ENS – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

USGS – United States Geological Survey

SCS – Soil Conservation Service

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	29
2.	OBJETIVOS	31
2.1.	Objetivo Geral	31
2.2.	Objetivos Específicos	31
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
3.1.	CICLO HIDROLÓGICO	33
3.2.	BACIA HIDROGRÁFICA E SUB-BACIAS	34
3.2.1.	Classificação dos rios conforme a constância	36
3.3.	CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA.....	36
3.3.1.	Hierarquia fluvial	37
3.3.2.	Índice de compacidade (Gravelius).....	38
3.3.3.	Índice de circularidade	39
3.3.4.	Coefficiente de forma	40
3.3.5.	Densidade de rios	41
3.3.6.	Densidade de drenagem	41
3.3.7.	Índice de sinuosidade	42
3.3.8.	Declividade média do talvegue	42
3.4.	CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA	42
3.4.1.	Tempo de concentração.....	43
3.4.2.	<i>Curve-Number</i> e método SCS	43
3.4.3.	Retenção potencial máxima	46
3.4.4.	Abstração inicial.....	46
3.4.5.	Escoamento superficial	46
3.5.	GEOPROCESSAMENTO.....	47
3.5.1.	Sistema de Informação Geográfica (SIG)	48
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	49
4.1.	CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA.....	49
4.1.1.	Tabela de parâmetros morfométricos	49
4.2.	CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA	51
4.2.1.	Tabela de parâmetros hidrológicos.....	51
4.3.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	53
4.4.	FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA APLICADA.....	58
4.5.	MATERIAIS COMPUTACIONAIS	58
4.5.1.	HEC-GeoHMS	58

4.5.2.	ArcGIS	59
4.5.3.	Statística	60
4.6.	MATERIAL CARTOGRÁFICO	60
4.6.1.	Mapa hipsométrico	60
4.6.2.	Mapa de hidrografia	61
4.6.3.	Tipo de solo.....	63
4.6.4.	Uso e Ocupação do solo	64
4.7.	GEOPROCESSAMENTO.....	66
4.7.1.	Fluxograma do Geoprocessamento	66
4.7.2.	Etapas do Geoprocessamento.....	66
4.7.3.	Segmentação preliminar e correção das sub-bacias	68
4.7.4.	Enumeração das sub-bacias.....	69
4.8.	VALIDAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS	70
4.9.	CLASSIFICAÇÃO DOS RIOS EM PERENE OU INTERMITENTE	71
4.10.	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PARÂMETROS E ÍNDICES	72
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
5.1.	GEOPROCESSAMENTO.....	74
5.1.1.	Modelo Digital de Elevação (MDE)	74
5.1.2.	Segmentação preliminar e correção das sub-bacias	75
5.1.3.	Sub-bacias com suas respectivas linhas de drenagem e exutórias	77
5.1.4.	Enumeração das sub-bacias.....	78
5.2.	CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E HIDROLÓGICA.....	79
5.2.1.	Hierarquia fluvial segundo Strahler	79
5.2.2.	Classificação dos rios em Perene ou Intermitente	82
5.2.3.	Tabela dos dados hidrológicos	84
5.2.4.	Escoamento Superficial e Volume Escoado.....	85
5.3.	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PARÂMETROS E ÍNDICES.....	86
5.3.1.	Correlação entre os parâmetros estudados	90
5.4.	SETORIZAÇÃO DAS SUB-BACIAS EM ZONAS DE MESMAS CARACTERÍSTICAS	93

5.5.	AGRUPAMENTO DAS SUB-BACIAS	97
5.5.1.	Setorização das sub-bacias em zonas de mesmas características após agrupamento.....	100
6.	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	103
7.	REFERÊNCIAS.....	105
8.	ANEXOS	109

1. INTRODUÇÃO

Um dos procedimentos mais comuns em análises hidrológicas e ambientais de uma bacia hidrográfica, a caracterização morfométrica e hidrológica tem como objetivo elucidar as várias questões relacionadas ao entendimento da dinâmica ambiental local e regional. Segundo ANTONELI e THOMAZ (2007) a combinação dos diversos parâmetros morfométricos permite a identificação e diferenciação de áreas homogêneas, como uma sub-bacia por exemplo. Estes parâmetros podem revelar indicadores físicos específicos para um determinado local, de forma a qualificarem as alterações ambientais. Destaca-se também sua importância nos estudos sobre vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, incorpora princípios e normas para a gestão de recursos hídricos adotando a definição de bacias hidrográficas como unidade de estudo e gestão. Assim, é de grande importância para gestores e pesquisadores a compreensão do conceito de bacia hidrográfica e de suas subdivisões para auxiliar na tomada de decisão.

Tendo em vista estes aspectos, pretende-se neste trabalho, realizar uma caracterização morfométrica e hidrológica para consolidar uma base de dados referente à bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, com o uso de ferramentas computacionais de sensoriamento remoto e modelagem em Sistema de Informação Geográfica (SIG). Desta maneira será possível entender, de forma mais consistente, como a bacia hidrográfica em questão reage aos fenômenos de precipitação, infiltração de água no solo e descargas hidrológicas no corpo hídrico (laguna).

Para tanto é necessário fazer um segmentação da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição em sub-bacias, permitindo assim avaliar e estimar quantitativamente e qualitativamente as descargas destas áreas de contribuição de acordo com suas características de relevo, tipo de solo e uso e ocupação.

O presente trabalho dá continuidade à linha de pesquisa proposta pelo Laboratório de Hidráulica Marítima (LAHIMAR) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS) da UFSC, tendo como temática a investigação científica de fenômenos físicos do ambiente marinho do ecossistema da Lagoa da Conceição em Florianópolis - SC, sendo trabalhado anteriormente por KOEFENDER (2005), LINO (2005), NETO (2007), GODOY (2007), e ODRISKI (2007 e 2012).

Uma vez que o mapeamento da cobertura do solo é um importante diagnóstico na compreensão da evolução urbana e do desenvolvimento da cobertura vegetal. Ele fornece dados que podem auxiliar em uma avaliação e na gestão ambiental integrada de um meio ambiente. Foi proposto este trabalho sobre a bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, utilizando mapas de alta resolução e softwares atualizados, para elucidar os fenômenos presentes entre os âmbitos Atmosfera(Chuva)/Solo/Laguna.

Como resultado pretende-se segmentar a bacia hidrográfica em setores de mesmas características, quantificar as contribuições hidrológicas de cada setor, fazer um agrupamento das pequenas sub-bacias semelhantes, através dos valores encontrados para os parâmetros selecionados e de uma análise estatística sobre estes valores, consolidando assim uma base de dados para futuros estudos e análise neste local.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Realizar a setorização da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, localizada em Florianópolis – SC, com dados atuais de alta resolução, tendo como base suas características hidrológicas, naturais e de ocupação do solo.

2.2. Objetivos Específicos

a) Realizar a segmentação do terreno em torno da Lagoa da Conceição em sub-bacias, utilizando mapa altimétrico de alta resolução, escala 1:2000 (curva de nível a cada 1 metro), validando os resultados obtidos com dados georeferenciados observados em campo;

b) Caracterizar morfometricamente e hidrologicamente as sub-bacias obtidas, para poder avaliar o comportamento hidrológico do terreno submetido a diferentes eventos da precipitação;

c) Agrupar as sub-bacias que apresentem as mesmas características morfométricas e hidrológicas a fim de reduzir o número total de sub-bacias;

d) Comparar a distribuição dos valores dos parâmetros estudados para cada sub-bacias baseando-se em análises estatísticas, com a finalidade de fazer uma setorização em zonas de mesmas características.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre. O intercâmbio entre as circulações da superfície terrestre e da atmosfera, fechando o ciclo hidrológico, ocorre em dois sentidos: a) no sentido superfície-atmosfera, onde o fluxo de água ocorre fundamentalmente na forma de vapor, como decorrência dos fenômenos de evaporação e de transpiração, este último um fenômeno biológico; b) no sentido atmosfera-superfície, onde a transferência de água ocorre em qualquer estado físico, sendo mais significativas, em termos mundiais, as precipitações de chuva e neve (TUCCI, 2007).

De acordo com SILVEIRA (1997), pode-se iniciar a descrição do ciclo hidrológico (Figura 1) pela existência do vapor de água na atmosfera. Este vapor, em determinadas condições condensa-se formando nuvens. Devido à dinâmica atmosférica das massas de ar ocorre a precipitação. No trajeto em direção à superfície terrestre esta chuva está sujeita à evaporação. A parcela que atinge o solo, diretamente, por fluxo de tronco ou por “reprecipitação” a partir da vegetação, infiltra-se no solo até que a superfície deste sature de água. Quando atingida esta saturação superficial do solo, ou se a intensidade da chuva for maior que a capacidade de infiltração da água no solo, inicia-se o escoamento superficial, que é impulsionado pela gravidade. Do volume que atinge o solo, parte é infiltrada, parte é escoada sobre a superfície e parte é evapotranspirada, segundo PINTO; HOLTZ & MARTINS 2003.

O ciclo hidrológico só é fechado em nível global, os volumes evaporados em um determinado local do planeta não precipitam necessariamente no mesmo local, porque há movimentos contínuos, com dinâmicas diferentes na atmosfera e também na superfície terrestre. À medida que se considere áreas menores de drenagem, como por exemplo, uma bacia hidrográfica, o ciclo hidrológico fica mais caracterizado como um ciclo aberto ao nível local (TUCCI, 2007).

Entre os fatores que contribuem para que haja uma grande variabilidade de manifestações do ciclo hidrológico, pode-se destacar: a desuniformidade com que a energia solar atinge os diversos locais, o diferente comportamento térmico dos continentes em relação aos oceanos, a quantidade de vapor de água, CO₂ e ozônio na atmosfera, a

variabilidade espacial de solos e coberturas vegetais, e a influência da rotação e inclinação do eixo terrestre na circulação atmosférica. (TUCCI, 2007).



Figura 1: Esquema do Ciclo Hidrológico.

Fonte: USGS - United States Geological Survey.

3.2. BACIA HIDROGRÁFICA E SUB-BACIAS

De acordo com TUCCI (2007) o ciclo hidrológico é normalmente estudado com maior interesse na fase terrestre, onde o elemento fundamental de análise é a bacia hidrográfica, que é uma área de captação natural, da água proveniente da precipitação, e que faz convergir os escoamentos para um único ponto, sua exutória. A bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório.

Para GARCEZ e ALVAREZ (2002), as características topográficas, geológicas, geomorfológicas, pedológicas e térmicas, bem como o tipo de cobertura da bacia, desempenham papel essencial no seu comportamento hidrológico, sendo importante medir numericamente algumas dessas influências.

A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também os infiltrados no solo. Em um evento isolado pode-se desconsiderar estas perdas e analisar a transformação de chuva em vazão feita pela bacia com a ajuda do hietograma (chuva) e do hidrograma (vazão) (TUCCI, 2007).

Segundo TONELLO (2005) o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas, tais como forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, dentre outros; e do tipo de cobertura (uso e ocupação). Dessa maneira, as características físicas, bióticas e antrópicas de uma bacia possuem importante função nos processos do ciclo hidrológico, influenciando diretamente a infiltração, a quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração e os escoamentos superficial e sub-superficial.

Deve-se ressaltar que diversas definições de bacia hidrográfica foram formuladas ao longo do tempo e percebe-se grande semelhança e consideração, dos autores, no recorte espacial, baseado na área de concentração de determinada rede de drenagem. Entretanto as definições que envolvem as subdivisões da bacia hidrográfica (sub-bacia e microbacia) apresentam abordagens diferentes tocando fatores que vão do físico, político ao ecológico (TEODORO et al. 2007).

As sub-bacias são áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal. Para definir sua área os autores utilizam de diferentes unidades de medida. Para FAUSTINO (1996), as sub-bacias possuem áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km²; já para MARTINS et al. (2005) são áreas entre 20.000 ha e 30.000 ha (200 km² a 300 km²). SANTANA (2003) diz que as bacias hidrográficas podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor. Cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia.

Por fim, TEODORO et al. (2007) descrevem a microbacia como uma sub-bacia hidrográfica de área reduzida, não havendo consenso de qual seria a área máxima (máximo varia entre 10 a 20.000 ha ou 0,1 km² a 200 km²).

3.2.1. Classificação dos rios conforme a constância

Segundo proposto por VILLELA e MATTOS (1975) e LIMA (1976) com relação aos rios e sistema de drenagem é comum utilizar a classificação dos cursos d'água com relação à constância de escoamento para distinguir os diferentes tipos de comportamentos de rios e lençóis freáticos ao longo do tempo, sendo divididos em três tipos:

a) Perenes: o lençol subterrâneo alimenta continuamente garantindo fluxo o ano todo, ou pelo menos em 90% do ano, é um canal bem definido;

b) Intermitentes: de modo geral, só há fluxo durante a estação chuvosa (50% do período ou menos), o que os mantém é a subida do lençol freático nas estações das chuvas. Durante a estiagem secam, pois o lençol freático encontra-se abaixo do nível do leito do rio;

c) Efêmero: só há fluxo durante ou imediatamente após as chuvas ou períodos chuvosos; os canais não são bem definidos e normalmente são de pequeno porte.

3.3. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais, e tem como objetivo elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional.

De acordo com ANTONELI e THOMAZ (2007) na caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica a combinação dos diversos dados morfométricos permite a diferenciação de áreas homogêneas. Estes parâmetros podem revelar indicadores físicos específicos para um determinado local, de forma a qualificarem as alterações ambientais. Destaca-se também sua importância nos estudos sobre vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas.

A figura 2 a seguir, ilustra as medidas de comprimento dentro de uma bacia hidrográfica, que foram utilizadas para calcular os parâmetros expostos neste item (3.3).

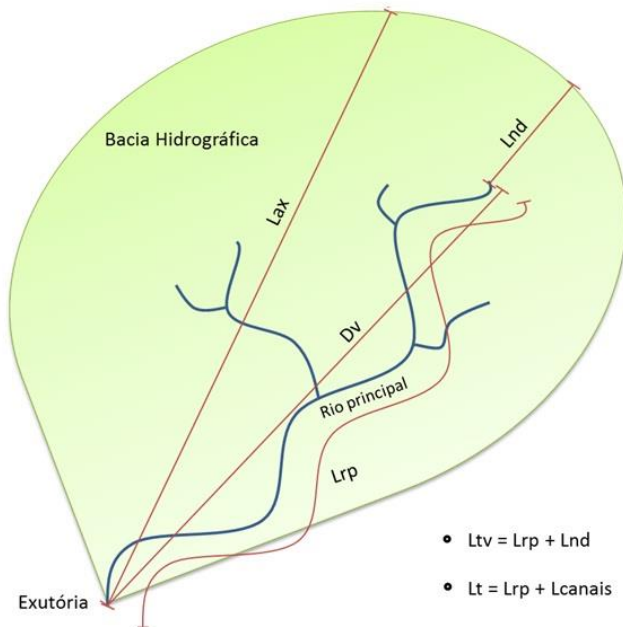


Figura 2: Medidas de comprimento em uma Bacia Hidrográfica.

Fonte: O autor.

onde: L_{tv} = Comprimento do talvegue;
 L_{rp} = Comprimento do rio principal;
 L_{nd} = Distância da nascente do rio principal até o divisor de águas;

D_v = Distância vetorial do rio principal;

L_{ax} = Comprimento axial da bacia;

L_t = Comprimento total de canais;

L_{canal} = Comprimento dos canais afluentes ao rio principal.

3.3.1. Hierarquia fluvial

CHRISTOFOLETTI (1980) afirma que a hierarquização fluvial consiste no processo de estabelecer a classificação de um determinado curso de água no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se situa. Um dos métodos que este autor aborda é o método desenvolvido por Artur

Strahler em 1952, que afirma que os menores canais, sem tributários, são considerados de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência; os canais de segunda ordem surgem de confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem podendo receber afluentes de segunda e primeira ordem; os canais de quarta ordem surgem da confluência de dois canais de terceira ordem, podendo receber tributários das ordens inferiores; e assim sucessivamente. A ordenação proposta por esse método pode ser visualizada na Figura 3.

Com a ordenação proposta pelo Método de Strahler é eliminado o conceito de que o rio principal deve ter o mesmo número de ordem em toda a sua extensão e a necessidade de se refazer a numeração a cada confluência.

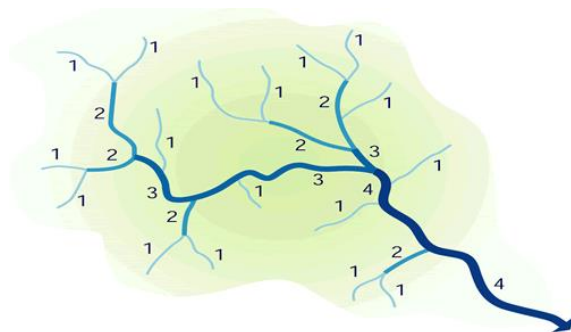


Figura 3: Hierarquização fluvial segundo Método de Strahler.

3.3.2. Índice de compacidade (Gravelius)

De acordo com VILLELA e MATTOS (1975) o Coeficiente de compacidade (K_c) ou índice de Gravelius é a relação entre o perímetro da bacia (P) e a circunferência de um círculo de área igual à área da bacia (P_c), ambos em km. Esse coeficiente é um valor adimensional que varia de acordo com a forma da bacia.

Segundo este mesmo autor, quanto mais próximo de 1,0 estiver o índice de compacidade, menor será o tempo de concentração e consequentemente maior tendência a enchentes terá esta bacia. Ou seja, quanto mais irregular a bacia for, maior será o índice de compacidade e em contrapartida, um índice mínimo (1 unidade) representaria uma bacia circular, significando uma área mais sujeita a enchentes.

Este índice tem grande importância quando analisado em conjunto com outros parâmetros de forma. A fórmula para este parâmetro está descrita na Tabela 1, no item 4.1.1.

Tem-se que o Índice de compacidade está diretamente e inversamente relacionado com o Índice de circularidade (I_c), tal relação é representada pela equação 1.

$$K_c^2 = \frac{1}{I_c} \quad (\text{eq. 1})$$

3.3.3. Índice de circularidade

Do mesmo modo que o índice de compacidade, o Índice de circularidade com valores próximos a uma unidade representam bacias com formato circular e bacias com valores inferiores associam-se a unidades hidrográficas mais alongadas.

Segundo CHRISTOFOLETTI (1980) o Índice de circularidade (I_c), proposto por V. C. Miller em 1953, propõem a relação entre a área da bacia (A) em km^2 e a área do círculo de mesmo perímetro (A_c) em km^2 , sendo que o valor máximo a ser obtido é 1,0. Quanto maior e mais próximo deste valor, maior será a semelhança da bacia em questão com uma forma circular e consequentemente mais suscetível a enchentes, pois ao ocorrer um evento de precipitação, quando atingir o tempo de concentração da bacia, praticamente toda sua superfície estará contribuindo na exutória, gerando, desta maneira uma elevada vazão de pico (Q_p).

3.3.4. Coeficiente de forma

O Coeficiente de forma (K_f) foi proposto por HORTON (1945), que é definido por meio da relação entre a área da bacia (A) em km^2 e o comprimento axial da bacia (L_{ax}) em km. Esta relação indica a tendência da bacia para enchentes, assim sendo, se o fator de forma for pequeno indica que a bacia é alongada e a precipitação dificilmente ocorrerá simultaneamente em toda a bacia, que é o caso da “Bacia A” na figura Figura 4 a seguir; o contrário ocorrerá se o fator de forma for um valor elevado, o que indicará que a forma da bacia tende a um círculo e a ocorrência de chuvas intensas pode cobrir toda a sua extensão no mesmo instante, como pode ser observado na “Bacia B” na Figura 4 (VILELLA e MATTOS, 1975; LIMA, 1996).

Este parâmetro é principalmente influenciado pela característica geológica da bacia, significando que no caso de bacias de mesmo tamanho, a que possuir coeficiente de forma inferior apresentará menor risco de enchentes.

Para obter o comprimento da bacia (L_{ax}) mede-se o curso d'água (talvegue) mais longo, seguindo o mesmo desde a desembocadura até a cabeceira mais distante na bacia. A largura média calcula-se dividindo a área pelo comprimento ao quadrado da bacia, para então se determinar o coeficiente de forma (K_f). A fórmula pode ser visualizada na Tabela 1.

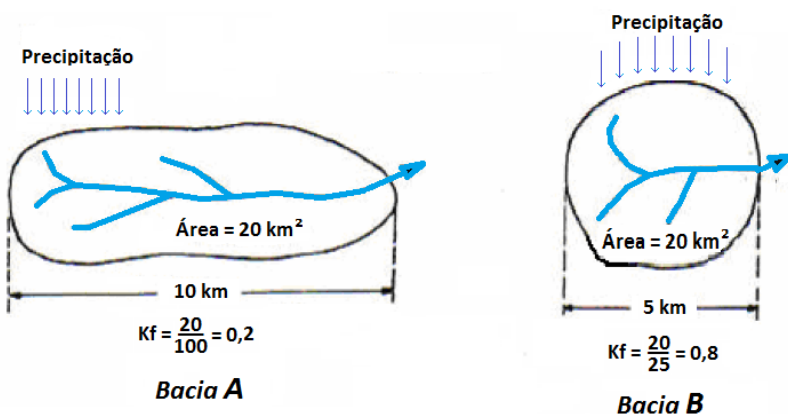


Figura 4: Exemplo de interpretação do Coeficiente de Forma (K_f).

Fonte: Adaptado de Lima (1976).

3.3.5. Densidade de rios

De acordo com CHRITOSFOLETTI (1980) a Densidade de rios (D_r), definida por HORTON (1945), é a relação existente entre o número de rios ou curso de água (N) e a área da bacia hidrográfica (A) em km^2 , tal fórmula é demonstrada na Tabela 1. Este índice é determinado com a finalidade de comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes em uma área de tamanho padrão, como por exemplo, um quilômetro quadrado (km^2).

Utilizando a ordenação de Strahler, que foi o método aplicado neste trabalho (item 3.3.1), o número de canais (N) utilizado para calcular este parâmetro, como está exposto na eq; 5 da Tabela 1, corresponde à quantidade de rios de primeira ordem, pois implica que todo e qualquer rio surge de uma nascente. Conforme critérios o cálculo da densidade de rios tem sua importância porque representa o comportamento hidrológico de determinada área, em um de seus aspectos fundamentais, que é a capacidade de gerar novos cursos de água.

3.3.6. Densidade de drenagem

Os autores CHRISTOFOLETTI (1980) e VILLELA & MATTOS (1975) abordam o parâmetro Densidade da drenagem (D_d), que também foi definida por HORTON (1945), como um parâmetro que correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento (L_t) em km com a área da bacia hidrográfica (A) em km^2 , sejam eles efêmeros, intermitentes ou perenes.

Este parâmetro está relacionado com características geológicas, sendo que as bacias hidrográficas que possuem solos rochosos, que dificultam a infiltração, possuem maior potencial de gerar escoamento superficial, formando maior número de rios perenes e consequentemente maior densidade de drenagem.

O cálculo deste parâmetro é importante na caracterização morfométrica de bacias hidrográficas porque representa a relação inversa com o comprimento dos rios, tendo que à medida que aumenta o valor numérico da Densidade de drenagem, ocorre a diminuição quase que proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias. A fórmula deste parâmetro está exposta na Tabela 1.

3.3.7. Índice de sinuosidade

De acordo com VILLELA & MATTOS (1975) e CHRISTOFOLETTI (1980) o Índice de sinuosidade é a relação entre o comprimento do rio principal (L_{rp}) em km e a distância vetorial do canal principal (D_v) em km. Determina-se a sinuosidade do curso d'água, que é o fator controlador da velocidade do escoamento em uma bacia hidrográfica, sendo obtido pela equação 7, exposta na tabela 1. Quanto maior for o valor da sinuosidade, maior a dificuldade encontrada pelo canal em seu caminho à foz, portanto menor será a velocidade de escoamento. Quanto mais próximo de 1,0 for o valor do índice de sinuosidade, menor será a sinuosidade e assim favorecerá a velocidades elevadas de escoamento.

Para canais com índice de sinuosidade além de 1,50 são considerados do tipo meândricos (sinuoso), abaixo deste valor passam a serem considerados canais retos.

3.3.8. Declividade média do talvegue

Para a estimativa deste parâmetro da bacia hidrográfica, o autor PORTO (1999) propõe que a declividade média do talvegue (S_{tv}), é dada pela diferença de cota (altura altimétrica) em metros entre a exutória e o ponto mais alto e afastado da bacia; dividido pelo o comprimento do canal entre esses pontos. Quanto maior for a declividade, maior será a velocidade do escoamento por gravidade e consequentemente menor será o tempo de concentração (t_c) da bacia hidrográfica em questão.

3.4. CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA

Assim como a caracterização morfométrica, a hidrológica fornece subsídios para a avaliação detalhada de uma determinada área, tendo em vista que está relacionada com a interação de como comportam-se as águas superficiais e infiltradas, provenientes da precipitação, sobre o solo, gerando dados qualitativos e quantitativos, que auxiliam de forma significativa na interpretação e na tomada de decisão na gestão ambiental sobre este local.

Os itens a seguir irão abordar os parâmetros hidrológicos utilizados no desenvolvimento deste trabalho, descrevendo seus significados, fórmulas, unidades e relevâncias.

3.4.1. Tempo de concentração

O Tempo de concentração (t_c) de uma bacia hidrográfica é igual ao tempo, em minutos, que a chuva, que cai no ponto mais distante do exutório, leva para atingi-lo (VILLELA e MATTOS, 1975). Quando isto ocorrer, significa que toda a área da bacia hidrográfica, submetida a um regime de chuvas intensas, está contribuindo para o escoamento superficial simultaneamente.

De acordo com PINTO; HOLTZ e MARTINS (2003), o tempo de concentração é o intervalo de tempo contado a partir do início da precipitação para que toda a bacia hidrográfica passe a contribuir na seção de estudo. Segundo TUCCI (2007) existem dezenas de fórmulas para estimar o tempo de concentração em uma bacia hidrográfica, cada uma com um desempenho melhor para o caso o qual foram elaboradas. Nas bacias rurais a rugosidade da superfície e a intensidade da chuva tendem a serem menos influentes do que nos canais para definir t_c , pois o tempo que o escoamento ocorre sobre a superfície é bem menor do que no canal natural.

A fórmula de Kirpich, mostrada na Tabela 2, foi elaborada a partir de bacias rurais de pequeno porte, com áreas de no máximo 0,5 km² e declividades em torno de 3 a 10%. A fórmula reflete os escoamentos da água nos canais e o escoamento em superfícies, pois apesar de ter seus parâmetros refletindo os canais, a equação foi elaborada a partir de pequenas bacias (TUCCI, 2007).

As bacias hidrográficas em meio urbano apresentam características diferenciadas das bacias rurais, devido ao elevado índice de impermeabilização proporcionado pela pavimentação das vias e construções urbanas, ocasionando, desta forma, um tempo de concentração menor nas bacias urbanas se comparada com as bacias rurais. Para estes tipos de bacias é recomendada a utilização da equação de Carter para tempo de concentração, também exposta na Tabela 2.

3.4.2. *Curve-Number* e método SCS

O parâmetro *Curve-Number* (CN) caracteriza simultaneamente as condições de umidade anterior ao evento chuva-vazão, o tipo geológico e o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica, variando teoricamente de 0 a 100, estando seus valores mais elevados associados à solos compactados e argilosos, com baixa capacidade de infiltração da água,

consequentemente à elevada capacidades de produção de escoamento superficial.

Em relação ao método elaborado pelo *Soil Conservation Service* em 1957, Odreski (2010) aborda que o *Curve Number* (CN) é um parâmetro que relaciona as características geofísicas com o uso e ocupação do solo, que tem como finalidade quantificar o escoamento superficial da água em bacias hidrográficas, dado um evento pluviométrico, também conhecido como modelo Chuva-Vazão.

Segundo TASSI et al. (2002) o parâmetro CN é estimado com o uso de tabelas e manuais em função do tipo de solo e das atividades desenvolvidas (uso e ocupação do solo) e a forma com que as mesmas são realizadas. O método prevê ainda três condições distintas de umidade antecedente do solo em função da chuva ocorrida nos dias anteriores (condições de umidade antecedente do solo I, II e III), e corrige os valores do parâmetro CN para estas condições.

A condição de umidade antecedente do solo I refere-se à condição seca, onde a precipitação nos últimos 5 dias não ultrapassam 15 mm; a condição II à situação média na época das cheias, onde as chuvas nos últimos 5 dias totalizaram entre 15 e 40 mm; e a III à condição de solo úmido próximo da saturação, no qual a precipitação nos últimos 5 dias foram superiores a 40 mm e as condições meteorológicas são desfavoráveis a altas taxas de evaporação.

- CN_I (seca): $P_{5\text{dias}} < 15 \text{ mm}$
- CN_{II} (normal): $15 \text{ mm} < P_{5\text{dias}} < 40 \text{ mm}$
- CN_{III} (úmida): $P_{5\text{dias}} > 40 \text{ mm}$

Com relação aos tipos de solo e condições de ocupação, o SCS distingue, no método, quatro grupos hidrológicos de solos, que variam desde areias com grande capacidade de infiltração a solos argilosos com capacidade de infiltração extremamente baixa (30 - 40% de argila total). As características ou definições dos grupos do solo, apresentadas pelo SCS são:

- Grupo A: solos com baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração uniforme quando completamente molhados, consistindo principalmente de areias e cascalhos, ambos profundos e excessivamente drenados (taxa mínima de infiltração: $> 7,62 \text{ mm/h}$);

- Grupo B: solos contendo moderada taxa de infiltração quando molhados, consistindo principalmente de solos moderadamente profundos, moderadamente bem drenados e com textura moderadamente fina e moderadamente grossa (taxa mínima de infiltração: 3,81 - 7,62 mm/h);

- Grupo C: solos contendo baixa taxa de infiltração quando completamente molhados, consistindo principalmente com camadas que dificultam o movimento vertical da água no solo, de camadas superiores para inferiores, com textura moderadamente fina e baixa taxa de infiltração (taxa mínima de infiltração: 1,27 - 3,81 mm/h);

- Grupo D: solos que possuem alto potencial de escoamento, tendo uma taxa de infiltração muito baixa quando completamente molhados, principalmente solos argilosos (taxa mínima de infiltração: < 1,27 mm/h).

A Figura 5 apresenta um gráfico demonstrando esquematicamente as funções do método SCS. Não existe precipitação em excesso até que a Precipitação (P) seja maior que as perdas iniciais dada pelo parâmetro Abstração inicial (I_a). Depois de superado o valor de I_a , o Escoamento superficial resultante (Q_{sup}) é o resíduo da subtração entre a Infiltração na bacia (F) (não inclui I_a) e a Precipitação. O volume máximo retido tende ao armazenamento dado pelo parâmetro Retenção potencial máxima do solo (S), conforme o tempo tende a infinito.

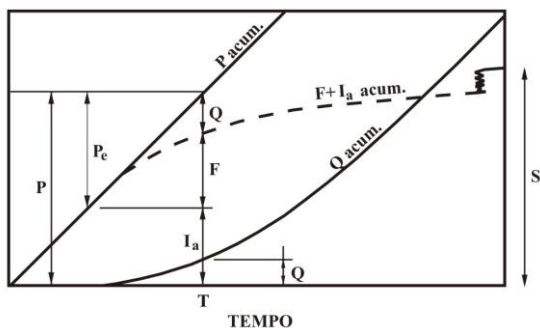


Figura 5: Representação esquemática das funções do método da *Curve-Number*.

3.4.3. Retenção potencial máxima

A Retenção potencial máxima de água no solo (S) relaciona-se diretamente ao parâmetro *Curve-Number* (CN), como pode ser observado na equação disposta na Tabela 2, sendo que quanto maior o valor do coeficiente CN, representa um solo bem compacto e com pouca capacidade de infiltração, maior também é o escoamento superficial e menor a retenção de água no solo; por outro lado, quando se diminui o valor do parâmetro CN, o escoamento decresce e a retenção aumenta. É importante ressaltar que o cálculo do parâmetro S é realizado com a finalidade de estimar a Abstração Inicial do solo (I_a) e o Escoamento Superficial (Q_{sup}) na bacia.

3.4.4. Abstração inicial

A Abstração Inicial de água no solo (I_a) representa as perdas iniciais incluindo perdas por armazenamento na superfície, por interceptação da precipitação pela vegetação existente, pela infiltração inicial da água no solo e outros fatores, os quais apresentam uma grande variabilidade, entretanto, geralmente podem ser relacionadas com o tipo de solo e a cobertura vegetal do terreno. A partir de um estudo envolvendo pequenas bacias hidrográficas rurais nos Estados Unidos, o I_a foi determinado como função do armazenamento potencial máximo de água no solo (S) representando 20% deste valor, a fórmula para o cálculo da Abstração Inicial está descrita na Tabela 2.

3.4.5. Escoamento superficial

A precipitação que cai sobre as vertentes infiltra-se nos solos até haver saturação superficial destes, momento em que começam a decrescer as taxas de infiltração e a surgir crescentes escoamentos superficiais, se a precipitação persistir (TUCCI, 2007), entretanto pode-se ocorrer escoamento superficial antes de o solo estar saturado, desde que a precipitação supere a taxa de infiltração de água no solo.

GARCEZ e ALVAREZ (2002) relatam que o escoamento superficial é a fase do ciclo hidrológico que trata do conjunto das águas que, por causa da gravidade, deslocam-se na superfície terrestre. O estudo do escoamento superficial considera o movimento da água na superfície

apenas sobre solo impermeável ou já saturado de água, o excedente escoar na superfície formando enxurradas, riachos, córregos, rios e lagos.

O escoamento superficial está diretamente relacionado às precipitações, sendo que é possível realizar análises quantitativas através do cruzamento de dados referentes aos dois eventos, e assim ter uma previsão de possíveis cheias em determinadas áreas. (GARCEZ e ALVAREZ, 2002). De acordo com MARTINS et al. (2005) o início do escoamento superficial se dá algum tempo depois do início da precipitação, esta diferença de tempo ocorre devido a ações dos vegetais na interceptação da precipitação, à saturação do solo e às depressões no terreno.

A equação do escoamento utilizada no método SCS (1973) foi desenvolvida, sobretudo, para utilização em pequenas bacias, através de dados de bacias experimentais com diversos tipos e uso do solo e técnicas de plantio. Como a equação foi desenvolvida a partir de dados de chuva diária, o método é adequado para estimativa do escoamento superficial direto para o período de 1 dia ou menos.

Seguindo a metodologia proposta e utilizando as equações expostas na Tabela 2, optou-se por fazer uma análise simplificada definindo diferentes eventos de chuvas constantes e uniformes, por um período de 1 hora, sobre cada sub-bacia, para quantificar o seu respectivo escoamento superficial e volume total precipitado.

3.5. GEOPROCESSAMENTO

O autor SILVA (2001) afirma que o geoprocessamento é um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre uma base de dados georeferenciados, que são registros de ocorrências, para transformar em informação relevante, e deve necessariamente apoiar-se em estruturas de percepção ambiental que proporcionem o máximo de eficiência nesta transformação

Utilizando de técnicas de geoprocessamento pode-se acompanhar com mais facilidade a rápida evolução da população observada atualmente e dos espaços por ela ocupados e auxiliar na análise dos efeitos das intervenções e mudanças causadas pela implementação dos planos e estratégias no meio urbano e rural.

Sendo assim o geoprocessamento muda a forma de coletar, utilizar e disseminar a informação, possibilitando o acompanhamento ou monitoria, por meios diversos, desde imagens de satélite até mapas

interativos, da espacialização e extensão dos efeitos das políticas e ações de desenvolvimento, sobre o espaço, em tempo real.

3.5.1. Sistema de Informação Geográfica (SIG)

BOHNAM-CARTER (1996) afirma que o Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um sistema de software computacional com o qual a informação pode ser capturada, armazenada e analisada, combinando dados espaciais de diversas fontes em uma base unificada, empregando estruturas digitais variadas que representam fenômenos espaciais também variados, através de uma série de planos de informação que se sobrepõe corretamente em qualquer localização.

Com o SIG é possível a obtenção qualitativa e quantitativa de dados computacionais geográficos possibilitando a gestão dos recursos e aplicação de técnicas otimizadas baseadas em diagnósticos georeferenciados (CAVALLARI, 2007).

Um dos softwares mais utilizados no atualmente na linguagem SIG é o programa ArcGIS, desenvolvido pela empresa Norte-Americana *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), o qual possui uma gama de ferramentas que possibilitam trabalhar espacialmente com dados georeferenciados, simulando de maneira efetiva cotas hipsométricas e coordenadas cartográficas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir serão apresentados os itens descrevendo a metodologia adotada para realização deste trabalho, compreendendo o levantamento de dados, geoprocessamento, validação dos resultados, os parâmetros utilizados na caracterização das sub-bacias e análises propostas.

4.1. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

Na caracterização morfométrica serão abordados os parâmetros envolvendo as características físicas e de forma do terreno, os quais serão exposto na Tabela 1 discriminando cada um deles, sendo que os significados e relevâncias de tais parâmetros já foram abordados no item 3.3.

4.1.1. Tabela de parâmetros morfométricos

A seguir a Tabela 1 foi desenvolvida ilustrando os parâmetros utilizados na caracterização morfométrica das sub-bacias, com seus respectivos símbolos, fórmulas, unidades em questão e referências.

Tabela 1: Parâmetros morfométricos.

Numeração	Abreviação	Parâmetro	Definição	Unidade	Referência
eq. 2	K_c	Índice de compacidade ou Gravelius	$K_c = \frac{P}{P_c}$	-	Strahler (1964)
eq. 3	I_c	Índice de circularidade	$I_c = \frac{4 \times A \times \pi}{P^2}$	-	Miller (1953)
eq. 4	K_f	Coeficiente de forma	$K_f = \frac{A}{L_{ax}^2}$	-	.
eq. 5	D_r	Densidade de rios	$D_r = \frac{N}{A}$	km ²	Horton (1945)
eq. 6	D_d	Densidade de drenagem	$D_d = \frac{L_t}{A}$	km ⁻¹	Horton (1945)
eq. 7	I_s	Índice de Sinuosidade	$I_s = \frac{L_{rp}}{D_v}$	-	.
eq. 8	S_{tv}	Declividade média do talvegue	$S_{tv} = \frac{H}{L_{tv}}$	m/m	.

(-) = Unidade Adimensional.

onde: P = Perímetro da bacia [km];
 P_c = Perímetro de um círculo de mesma área da bacia [km²];
 A = Área da bacia [km²];
 L_{ax} = Comprimento do eixo da bacia [km];
 N = Número total de rios;
 L_t = Comprimento total de canais [km];
 L_{rp} = Comprimento do canal principal [km];
 D_v = Distância vetorial do canal principal [km];
 H = Altura altimétrica no divisor de água [km];
 L_{tv} = Comprimento do talvegue [km].

4.2. CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA

Na caracterização hidrológica serão abordados os parâmetros, que apresentam influência sobre como o terreno se comporta em termos de escoamentos superficiais gerados por um evento pluviométrico. Estes parâmetros serão expostos na Tabela 2 discriminando cada um deles, sendo que os significados e relevâncias destes já foram abordados no item 3.4.

4.2.1. Tabela de parâmetros hidrológicos

A Tabela 2 foi construída com a finalidade de ilustrar os parâmetros utilizados na caracterização hidrológica das sub-bacias, com seus respectivos símbolos, fórmulas, unidades em questão e referências. Tais parâmetros serão posteriormente descritos, abordando seus significados e relevâncias.

Tabela 2: Parâmetros hidrológicos.

Numeração	Abreviatura	Parâmetro	Definição	Unidade	Referência
eq. 10	t_c rural	Tempo de concentração Kirpich	$tc = 3,989 \times L_{tv}^{0,77} \times S'^{-0,385}$	min	Kirpich
eq. 11	t_c urbano	Tempo de concentração Carter	$tc = 5,862 \times L_{tv}^{0,6} \times S'^{-0,3}$	min	Carter
eq. 12	S	Retenção Potencial Máxima	$S = \frac{25400}{CN} - 254$	mm	.
eq. 13	I_a	Abstração inicial	$Ia = 0,2 \times S$	mm	.
eq. 14	Q_{sup}	Escoamento Superficial	$Q_{sup} = \frac{(P - 0,2 \times S)^2}{P + 0,8 \times S}$	mm	.

onde: L_{tv} = Comprimento do talvegue [m];
 S_{tv} = Declividade média do talvegue [m/m];
 CN = Coeficiente *Curve-Number*;
 S = Retenção potencial máxima do solo;
 P = Precipitação em [mm].

4.3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste item serão levantados os aspectos relevantes no que diz respeito a caracterização física, meteorológica, social e econômica da área de estudo envolvida neste trabalho com finalidade de situar a contextualizar, sendo dividida em onze aspectos, descritos a seguir:

a) Localização

A bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição fica situada na região centro-leste da Ilha de Santa Catarina entre os paralelos 27° 27' 17'' e 27° 38' 36'' de Latitude Sul e entre os meridianos de 48° 22' 30'' e 48° 29' 54'' de Longitude a Oeste de Greenwich, conforme carta-base digitalizada (ver Figura 6) do Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (IPUF).

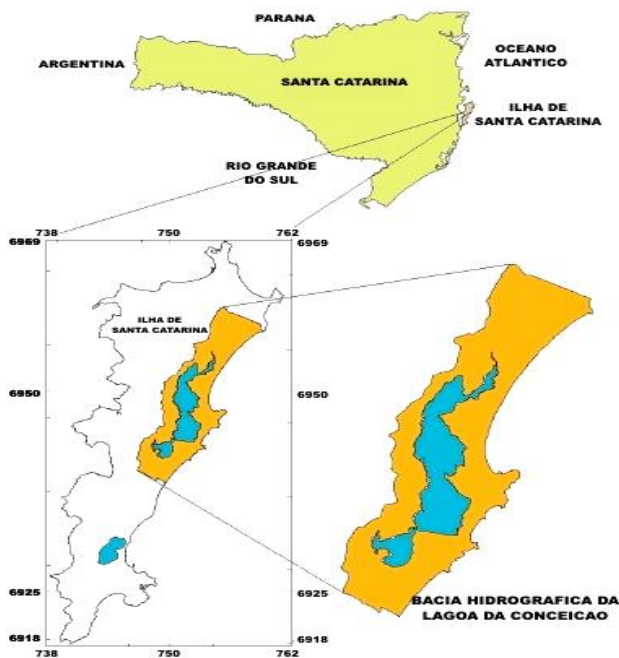


Figura 6: Localização da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição
Fonte: Fonte IPUF, Adaptado por ODRESKI (2007).

b) Área

No desenvolvimento deste trabalho encontrou-se o valor da área superficial da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, totalizando 61,77 km². As duas maiores e mais relevantes sub-bacias, João Gualberto e Rio Vermelho, situadas ao norte da bacia, possuem 12,52 e 8,70 km² respectivamente, representando cerca de 35% da área total,

c) Clima

A região caracteriza-se como tendo um clima agradável devido à maritimidade, controlada pelas Massa Polar Marítima e Massa Tropical Marítima, com amplitudes térmicas medianas ao longo do ano devido à circulação de brisas terrestres e marítimas decorrentes da proximidade com o mar. A temperatura média anual é de 20,4 graus e a umidade relativa média do ar de 80%. Segundo a classificação de Köeppn, o clima é do tipo Mesotérmico Úmido de zona intermediária subtropical. Os meses de inverno apresentam menos chuvas, sendo compensados por outros períodos mais frequentes. De maneira geral, as chuvas são bem distribuídas durante o ano (SILVA, 2002).

d) Vegetação

A vegetação da Ilha de Santa Catarina possui dois tipos de formações principais. A Vegetação Litorânea se encontra em áreas mais influenciadas pelas condições do solo e abrange as vegetações das praias, dunas, manguezais, restingas e florestas de planícies. A Mata Atlântica, também conhecida como Floresta Ombrófila Densa, distribui-se pelas encostas dos morros sendo mais influenciadas pelo clima (SILVA, 2002).

Segundo este mesmo autor, a bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição é composta pelos dois tipos de vegetações citadas acima, apresentando Vegetação Litorânea de Restinga, vistas nas praias e dunas, e a Floresta Ambrófila Densa, da qual constitui basicamente as Áreas de Preservação Permanente e as encostas dos morros. A Mata Atlântica é considerada na Constituição Brasileira como patrimônio nacional e deve ser utilizada, de acordo a lei nacional, de maneira que assegure a preservação do meio ambiente.

e) Geologia e Geomorfologia

A geologia da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição é caracterizada pela presença de depósitos sedimentares (cordões litorâneos), acumulados devido à ação marinha, eólica e lagunar, encontrados nas áreas mais planas e pelo conjunto de rochas que constituem os altos morros da região (ODRESKI, 2007).

CARUSO (1993) em seu estudo aborda os embasamentos situados entre o Canto da Lagoa e o Rio Tavares e que vai do Rio Vermelho até a ponta dos Araçás possuem uma constituição basicamente formada pelo Granito Ilha, granito este identificado como tendo coloração cinza rosada, textura heterogranular e granulometria variando de média até grosseira.

De acordo com SILVA (2002) os modelados geomorfológicos, apresentados pelo Granito Ilha, são de morros altos e fortemente dissecados, com encostas que apresentam fortes declínios, onde afloram principalmente vegetações de médio e grande porte, como ocorre em toda região oeste da Lagoa da Conceição, no morro que separa a laguna do bairro Itacorubi e nas encostas do morro da Costa da Lagoa. Os afloramentos mais extensos, contudo, ocorrem nas encostas junto ao mar e nos topos de morros. A sequência de elevações são orientadas no sentido norte-sudoeste (NE-SW), dispostas de forma semi-paralela, apresentando uma gradativa diminuição enquanto se direciona em direção ao mar.

f) Hidrologia

A ligação do corpo hídrico da Lagoa da Conceição com o Oceano Atlântico é dada por um canal, chamado popularmente de Canal da Barra da Lagoa, que permite o fluxo de água caracterizando-o como um ambiente estuarino lagunar com mistura de água doce e salobra.

Segundo SILVA (2002) o corpo hídrico em questão possui perfil assimétrico de margens sinuosas e irregulares; e os recursos hídricos de água doce que alimentam a laguna são provenientes de três origens: contribuição das precipitações pluviométricas (águas das chuvas), dos riachos, situados à oeste da laguna, e do Rio Capivaras localizado no extremo Norte, do qual desemboca suas águas no corpo lagunar.

g) Dinâmica da Ocupação Urbana

O desenvolvimento da urbanização da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição teve início na década de 1950. Ao longo dos anos, foram aparecendo acessos secundários, dos quais facilitaram ao longo de suas

vias, a ocupação do espaço. O adensamento urbano, nesta época, fez com que áreas de pastagens e cultivo agrícola desaparecessem, liberando espaço para ocupação humana. Esse crescimento possibilitou em um avanço estrutural do local, como alargamento de ruas e abertura de novas vias. Logo, áreas de fundamental importância ambiental da bacia da Lagoa da Conceição, como as margens da laguna, começaram a ser povoadas e a oferecer riscos à saúde do meio ambiente local (HAUFF, 1996).

Em seguida as belezas naturais da Lagoa da Conceição e a qualidade de vida encontrada no local ocasionaram com que um grande contingente humano chegasse ao local. Assim, um novo ramo passou a ser explorado e logo se tornou uma grande fonte de renda: o turismo (SILVA, 2002).

De acordo com MAKOWIECKY (2003) com a relevante importância que o espaço territorial da Lagoa da Conceição ganhou e a grande procura por terras fizeram com que a cobiça pelo solo local gerasse conflitos de interesse e as consequências se transpareceram através da especulação imobiliária, ocupação desordenada do território, planejamento ineficiente e do surgimento de movimentos sociais locais que representavam às comunidades a fim de defender seus interesses. O parcelamento do solo era seguido da comercialização de terrenos, dos quais resultavam em um aumento significativo de construções, apresentando como resultado o aumento da densidade demográfica da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição.

Com os resultados obtidos neste trabalho, por meio de geoprocessamento, observou-se e quantificou-se três sub-bacias com um nível de urbanização elevado (de 35 a 45% da área ocupada por construções e vias), sendo duas delas compondo o “centrinho da Lagoa”, e a outra a “cidade da Barra da Lagoa”, situadas, respectivamente, na região centro-oeste e centro-leste da bacia hidrográfica.

h) Aspectos Demográficos

De acordo com ODRESKI (2007), devido à intensa atividade turística praticada na região e ao fato de Florianópolis possuir as estações do ano bem definidas com grande variação térmica, a cidade, principalmente a Lagoa da Conceição, apresenta uma dinâmica populacional diferenciada nos meses de verão (dezembro a março), denominada de Alta Temporada, onde o movimento de pessoas se eleva consideravelmente e, conseqüentemente, as características de

balneabilidade são claramente afetadas durante esta a época. Em contrapartida, nos meses de inverno o movimento turístico diminui significativamente, permanecendo praticamente a população residente local.

Os aspectos demográficos são separados em duas categorias distintas: População Fixa, que abrange o grupo de pessoas que residem na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição durante a maior parte do ano; e a População Flutuante que abrange as pessoas que estão de passagem, ou que permanecem por um curto período tempo na região.

i) Economia

Segundo FRANK (2002) a economia da bacia da Lagoa da Conceição varia de região para região, sendo as principais atividades econômicas, conforme localidade as seguintes:

- Centrinho: comércio e serviços, destacando a gastronomia;
- Barra da Lagoa: pesca;
- Costa da Lagoa: pesca intralagunar e serviços, como transportes náuticos e restaurantes;
- Rio Vermelho: atividades agropecuárias e serviços.

j) Áreas de Preservação

A bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição possui cerca de 28 km², de acordo com FRANK (2002), de áreas vegetadas protegidas pela Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Estas áreas são denominadas de Unidades de Conservação e se identificam como: Parque Florestal do Rio Vermelho, Parque das Dunas da Lagoa da Conceição, Costa da Lagoa e Parque Municipal da Praia da Galheta.

k) Conflitos

A respeito da problemática e dos aspectos socioeconômicos da região da Lagoa da Conceição, podem-se destacar os conflitos envolvendo a terra e uso da água, tais como a supervalorização das terras, resultado da intensa imigração; a ocupação ilegal de terras; a redução da balneabilidade, como resultado da poluição da laguna, consequentemente provocando a eutrofização da laguna; e diminuição da pesca, devido as atividades náuticas esportivas.

4.4. FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA APLICADA

A seguir, na Figura 7 pode-se visualizar o fluxograma criado a partir da metodologia aplicada para o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso, demonstrando de forma simplificada as etapas realizadas neste estudo.

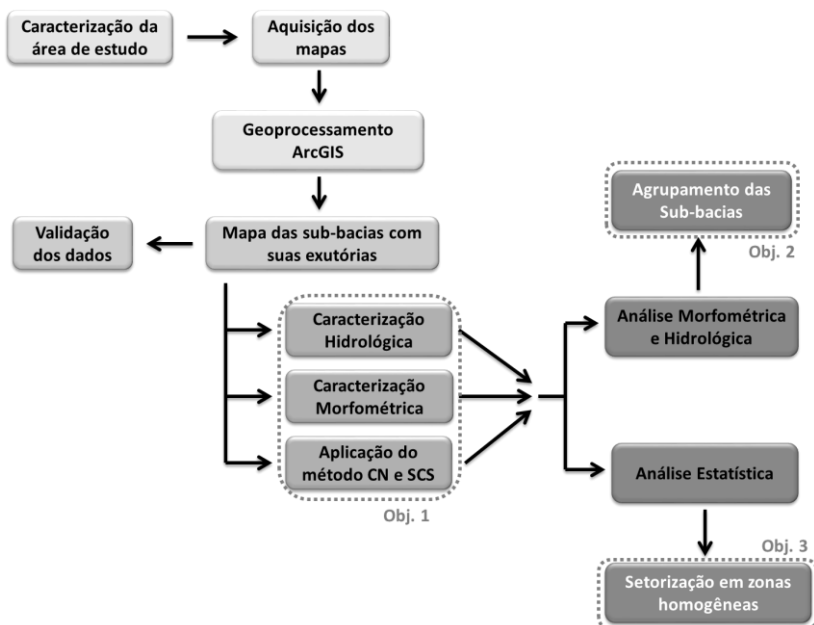


Figura 7: Fluxograma da Metodologia.

4.5. MATERIAIS COMPUTACIONAIS

Neste item serão abordados os recursos computacionais utilizados no desenvolvimento deste trabalho, compreendendo os programas (*softwares*) envolvidos.

4.5.1. HEC-GeoHMS

O programa Hec-GeoHMS versão 5.0 é um *software* que ao ser instalado no computador, se adere a interface do programa ArcGIS, trabalhando de forma conjunta. E fez-se necessário sua utilização, pois

através dele foi possível fazer o processamento do terreno, gerando uma delimitação preliminar das sub-bacias com suas respectivas linhas de drenagem a partir dos mapas digitais da hidrologia (rios) e de terreno (Modelo Digital de Elevação - MDE), que por sua vez, foi gerado com base no mapa hipsométrico com curvas de nível do terreno.

4.5.2. ArcGIS

Na realização deste trabalho utilizou-se da ferramenta computacional ArcGIS versão 10, desenvolvido pelo ESRI, que trabalha com Sistema de Informação Geográfica (SIG) e permite trabalhar com dados espaciais, criar e manipular mapas utilizando um sistema de coordenadas georeferenciadas.

Com a utilização deste programa foi possível segmentar a bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição em 60 sub-bacias, e extrair suas respectivas características físicas e geométricas, como a área e perímetro para cada uma delas, que são os parâmetros básicos para qualquer análise morfométrica. Também nesta ferramenta computacional foi possível extrair a elevação máxima e o comprimento do rio principal, de seus tributários e do talvegue para cada sub-bacia.

Outra análise feita foi a quantificação percentual da urbanização em cada sub-bacia, realizando o cruzamento dos dados da divisão das sub-bacias com o de uso e ocupação do solo. Podendo dessa maneira, arbitrar que tipo de metodologia mais se adequa para a estimativa do tempo de concentração de cada sub-bacia, sendo que para as 47 sub-bacias com menos de 10% de área urbana foram consideradas como rurais, aplicando a metodologia de Kirpich; e nas 13 demais sub-bacias que possuem mais de 10% de área urbana em sua totalidade foram consideradas como urbanas, valendo-se da metodologia de Carter para a determinação o tempo de concentração (t_c).

Também foi estimado o valor de parâmetro CN (Curve Number) para cada sub-bacia, por meio do cruzamento dos dados da divisão das sub-bacias, tipo de solo, e uso e ocupação do solo. Dessa maneira obteve-se o percentual de área para cada classe de tipo de solo com uso e ocupação do solo dentro de cada sub-bacia, e assim foi possível estimar um valor médio o parâmetro CN.

4.5.3. Statística

Utilizou-se o programa computacional Estatística versão 8 para fazer a análise estatística com os dados obtido na caracterização morfométrica e hidrológica da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição. Os parâmetros foram associados entre si, com a finalidade de elucidar a interligação e influência entre eles, para dessa forma tirar conclusões concretas, comparando os resultados dessa análise para realizar o agrupamento das sub-bacias em zonas de mesma característica.

4.6. MATERIAL CARTOGRÁFICO

Este item tem como finalidade discriminar os mapas cartográficos georeferenciados que serviram de base para o desenvolvimento deste trabalho. Tal base de dados foi fornecida pelo Laboratório de Hidráulica Marítima (LAHIMAR) da UFSC. O material consiste em um mapa hipsográfico de alta definição da cidade de Florianópolis e um mapa da hidrografia da mesma região, de tipo de solo e uso e ocupação, os quais foram recortados por meio do programa ArcGIS, com a finalidade de selecionar apenas a área de interesse.

4.6.1. Mapa hipsométrico

No mapa altimétrico de alta resolução foi selecionada a região centro-leste da ilha de Florianópolis e possui escala 1:2000 (curva de nível a cada 1 metro). Este foi adquirido por meio do LAHIMAR e consiste em uma imagem IKONOS II, que são imagens de alta definição fornecidas pelo satélite de mesmo nome. O satélite está em operação desde o ano 2000 e as imagens de alta resolução que antes eram utilizadas com fins militares, hoje servem para outras finalidades, como por exemplo o desenvolvimento deste trabalho.

A Figura 8 ilustra o mapa altimétrico das sub-bacias João Gualberto e Rio Vermelho, situadas no norte da Lagoa da Conceição, onde as cores mais escuras representam os níveis topográficos mais elevados, e as cores mais claras os níveis mais baixos. Optou-se em dar um *zoom* nesta área, pois a imagem mostrando toda a bacia ficam imperceptíveis as curvas de nível do terreno.

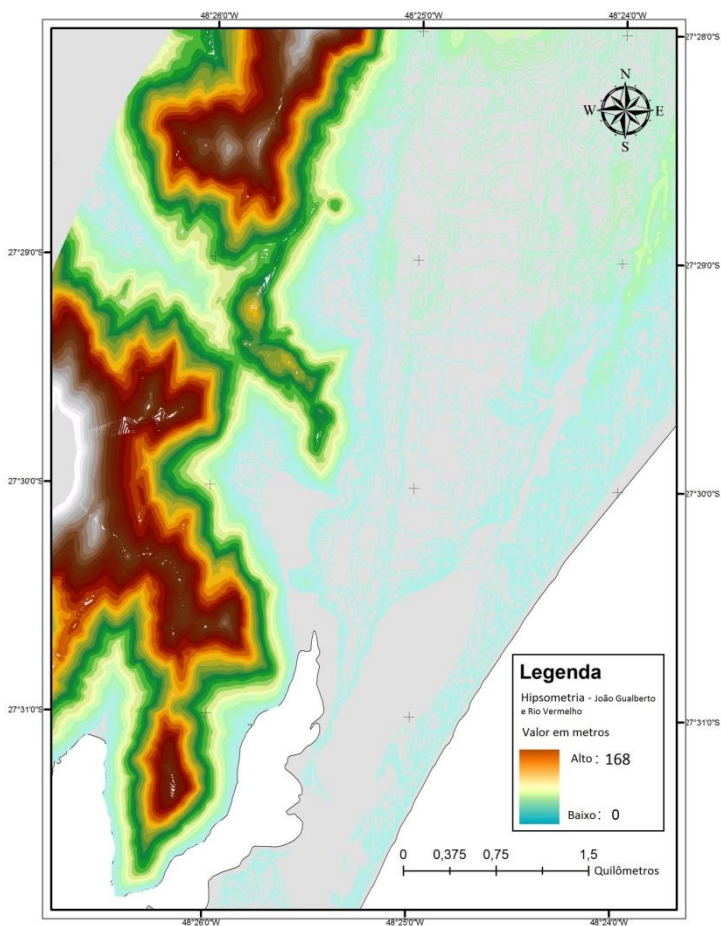


Figura 8: Mapa altimétrico das sub-bacias João Gualberto e Rio Vermelho.
Fonte: LAHIMAR.

4.6.2. Mapa de hidrografia

O mapa da hidrografia da ilha de Florianópolis também foi adquirido por meio do LAHIMAR. Na Figura 9 a seguir, pode-se

visualizar este mapa representando a mesma região da Figura 8, com os seus respectivos rios e canais; e a Figura 10 compreendendo toda a bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição.

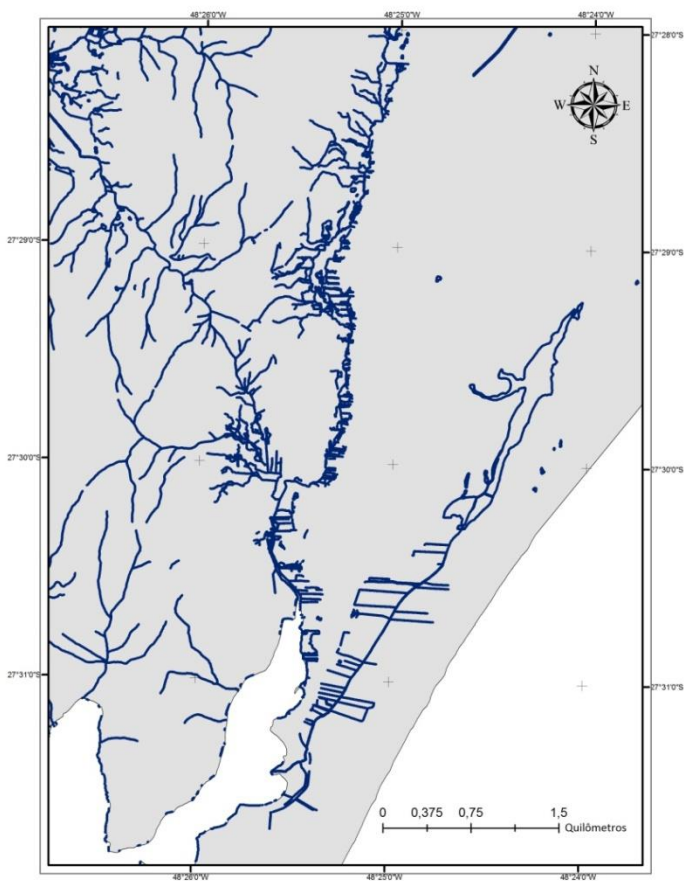


Figura 9: Mapa da hidrografia das sub-bacias João Gualberto e Rio Vermelho.
Fonte: LAHIMAR.

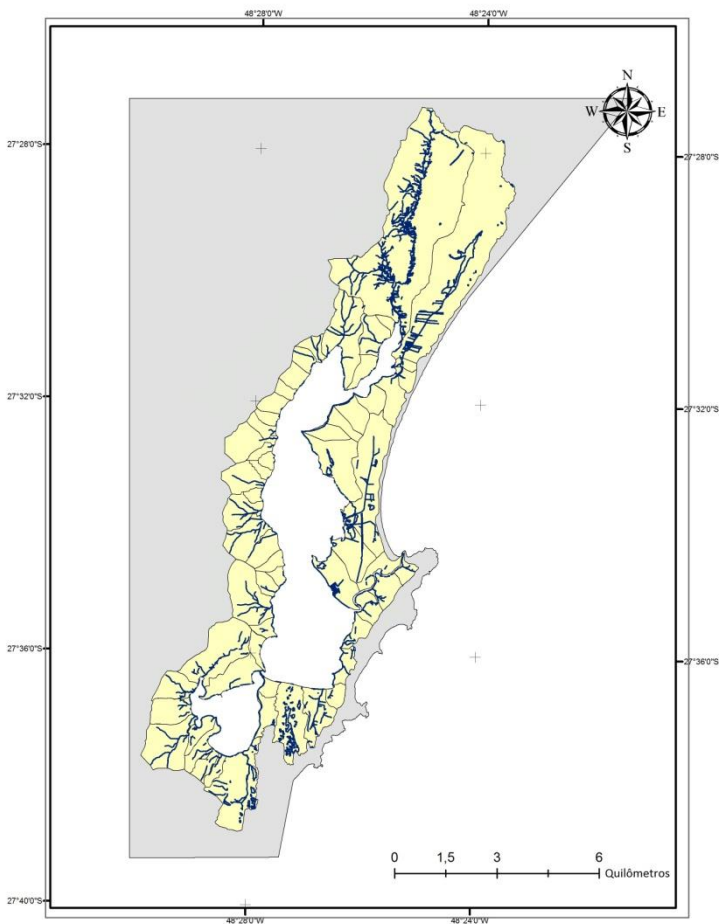


Figura 10: Mapa de hidrografia da Lagoa da Conceição.

4.6.3. Tipo de solo

A imagem a seguir é o mapa ilustrando os diferentes tipos de solo presentes na região da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, dando destaque para as Areias Quartzóicas e o Argissolo, presentes praticamente em toda as regiões da bacia. Os demais solo são: Areias Marinhas, Dunas,

Gleissolo pouco úmido e Organossolo. Tal classificação, assim como suas características de infiltração da água no solo, foram obtidas da fonte LAHIMAR (ODRESKI, 2010).

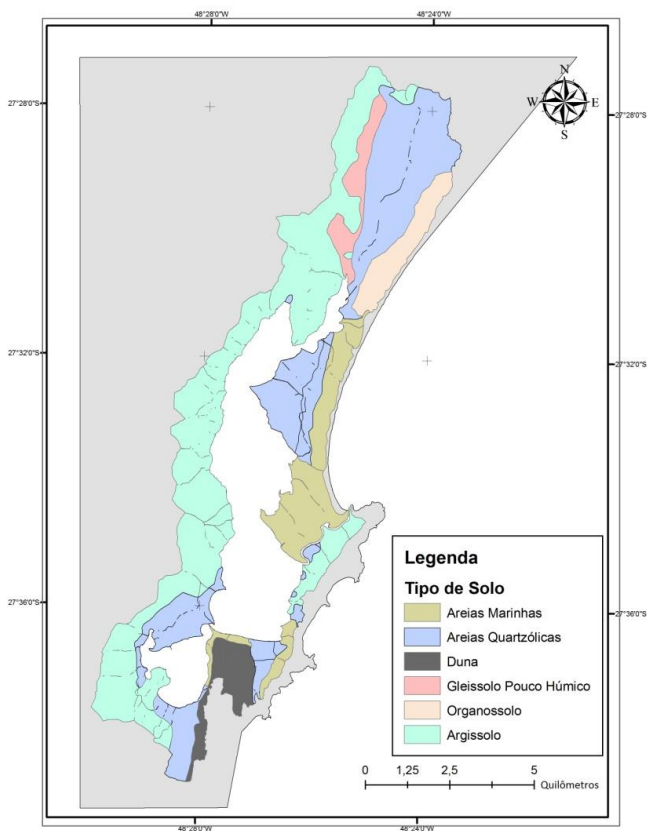


Figura 11: Mapa com os tipos de solos da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição. Fonte: LAHIMAR (ODRESKI, 2010).

4.6.4. Uso e Ocupação do solo

No mapa a seguir é ilustrado o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica em estudo, tal mapa foi fornecido pelo LAHIMAR

(ODRESKI, 2010), e mostra claramente que a grande maioria da extensão do local é coberto por Vegetação Arbórea, principalmente no lado oeste, e pode-se destacar 4 zonas de concentração urbana, a primeira de urbanização moderada no norte da bacia, compreendendo a região do Rio Vermelho, outra localizada em torno do canal da Barra da Lagoa no centro-leste, a terceira zona no sul englobando a região do Porto da Lagoa e Canto da Lagoa, e a última e principal está situada no centro-oeste da bacia e que representa o Centrinho da Lagoa.

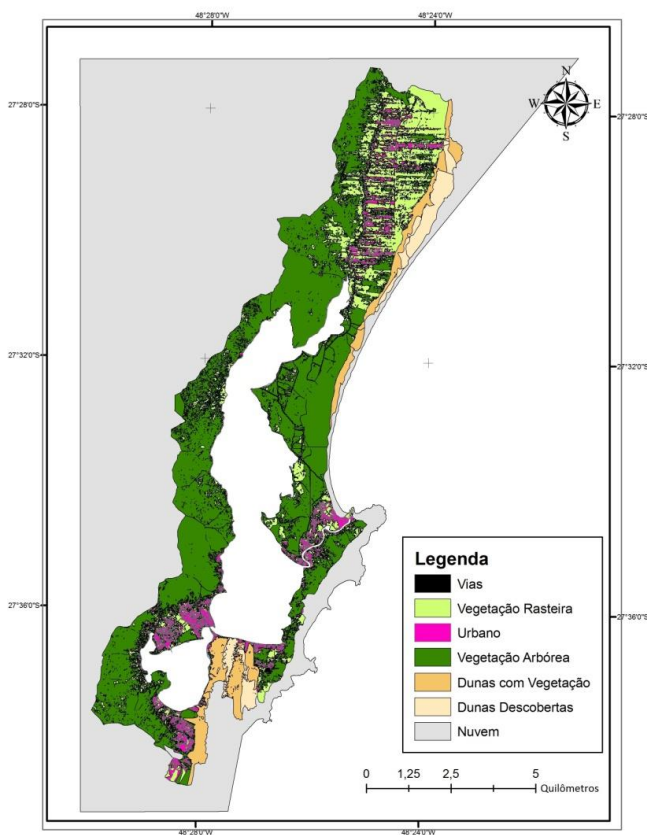


Figura 12: Mapa com o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição.

Fonte: LAHIMAR (ODRESKI, 2010).

4.7. GEOPROCESSAMENTO

A seguir serão abordadas as etapas de geoprocessamento realizadas para obter a segmentação da bacia hidrográfica em sub-bacias, descrevendo cada uma delas.

4.7.1. Fluxograma do Geoprocessamento

Neste item é apresentado na Figura 13 o fluxograma demonstrando as etapas desenvolvidas no geoprocessamento dos dados em Sistema de Informação Geográfica (SIG) com os programas computacionais ArcGIS e HEC-GeoHMS, obtendo no final do processo uma base de dados que possibilitou realizar a caracterização da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição. Para cada etapa ilustrada no fluxograma foi gerado um mapa georeferenciado, com suas respectivas informações.

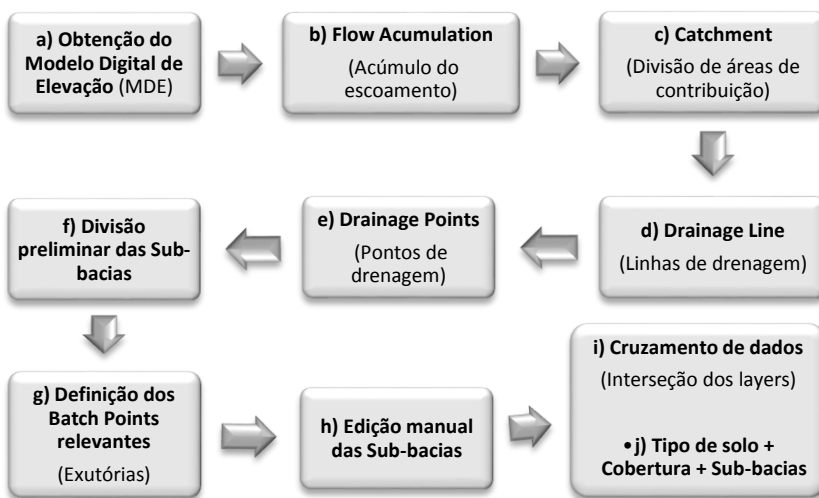


Figura 13: Fluxograma das etapas no geoprocessamento dos dados.

4.7.2. Etapas do Geoprocessamento

a) Após a obtenção do mapa hipsométrico de alta resolução, com as curvas de nível com espaçamento de 1 metro (escala 1:2000), o primeiro

passo foi utiliza-lo para gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE), por meio do programa, de Sistema de Informação Geográfica (SIG), ArcGIS, possibilitando desta forma que o programa consiga interpretar os dados relativos à elevação do terreno.

Em seguida, fez-se necessário a instalação junto ao ArcGIS do programa HEC-GeoHMS para o geoprocessamento da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, que é uma interface que possui a ferramenta (*ArchHydro Tools*) que permite trabalhar a parte hidrológica na bacia hidrográfica.

b) Com o MDE e o mapa de hidrografia da região, utilizou-se a metodologia sugerida pelo manual do programa Hec-GeoHMS no capítulo 6 - Processamento de Terreno (*Terrain Processing*), para gerar a direção e o acúmulo do escoamento superficial no terreno da bacia hidrográfica (*Flow Direction* e *Flow Accumulation*)

c) A partir dos mapas de escoamento superficial gerados no item anterior obteve-se a definição e segmentação do escoamento (*Stream Definition* e *Stream Segmentation*) e das áreas de contribuição (*Catchment Grid Delineation* e *Catchment Polygon Processing*).

d) Seguindo a mesma metodologia, após a obtenção das áreas de contribuição para cada micro-bacia, foram obtidas as linhas de drenagem para cada uma delas (*Drainage Line Processing*) e por fim, o agrupamento destas micro-bacias (*Watershed Aggregation*) para formar as sub-bacias da bacia hidrográfica em estudo.

e) Nesta última etapa do capítulo 6 do Manual do Usuário do HEC-GeoHMS, foi realizado o ajuste das micro-bacias obtidas (*Adjoint Catchment Processing*), gerando dessa maneira os pontos de descarga (exutória) para cada micro-bacia.

f) Em seguida fez-se um pré-delineamento das sub-bacias (*Batch Watershed Delineation*), através da agregação das sub-bacias, tendo em vista que este pré-delineamento é apenas um esboço, uma aproximação, que exige uma edição posterior das linhas de divisor de água.

g) Desta forma obteve-se uma segmentação da bacia hidrográfica em micro-bacias, com seus respectivos pontos de descarga. A partir destas

exutórias foi possível arbitrar quais pontos serão relevantes para o trabalho, ou seja, quais exutórias descarregam na Lagoa da Conceição.

h) Sendo esta etapa a parte que depende mais tempo para sua conclusão em todo geoprocessamento, a edição das sub-bacias geradas deve-se basear no mapa topográfico e deve contemplar todos os espaços que não foram considerados parte de uma sub-bacia e remover os que espaços que foram superestimados, mas que não fazem parte da bacia hidrográfica em questão.

i) Na etapa final do trabalho, utilizaram-se imagens cartográficas georeferenciadas com informações do tipo de solo, e do uso e ocupação do solo (ODRESKI, 2010). Fazendo o cruzamento de informação destes dois mapas com a divisão das sub-bacias com uso do ArcGIS, gerando desta maneira, a porcentagem das áreas de cada sub-bacia com seus respectivos tipos de solo e uso e ocupação.

4.7.3. Segmentação preliminar e correção das sub-bacias

Após realizar o procedimento proposto para obtenção das sub-bacias com o ArcGIS e o HEC-GeoHMS, obteve-se uma segmentação preliminar para toda região ao redor da laguna, que é uma estimativa superficial das sub-bacias, a qual posteriormente necessita de uma correção manual arbitrária em seu delineamento, baseada nas curvas de nível do mapa altimétrico com escala de 1:2000, ou seja, esta correção foi feita ratificando os limites aproximados das sub-bacias geradas pelo programa, analisando as curvas hipsométricas do relevo, fazendo com que as bordas passem exatamente sobre os divisores de água, contemplando dessa maneira toda a área de contribuição hidrológica de cada sub-bacias.

Em seguida foram escolhidos os pontos de exutória relevantes para este trabalho, sendo as exutórias que deságuem no corpo hídrico da laguna, selecionando dessa maneira apenas as sub-bacias que tem influência direta e pertencem à bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição.

A Figura 14 a seguir exemplifica, na imagem da esquerda, as curvas de nível de metro em metro e o delineamento preliminar aproximado feito pelo programa, segmentando o terreno em células quadradas; e a imagem da direita a correção que foi realizada manualmente através da ferramenta de edição de *layers* para aproximar ao máximo da forma real da bacia hidrográfica.

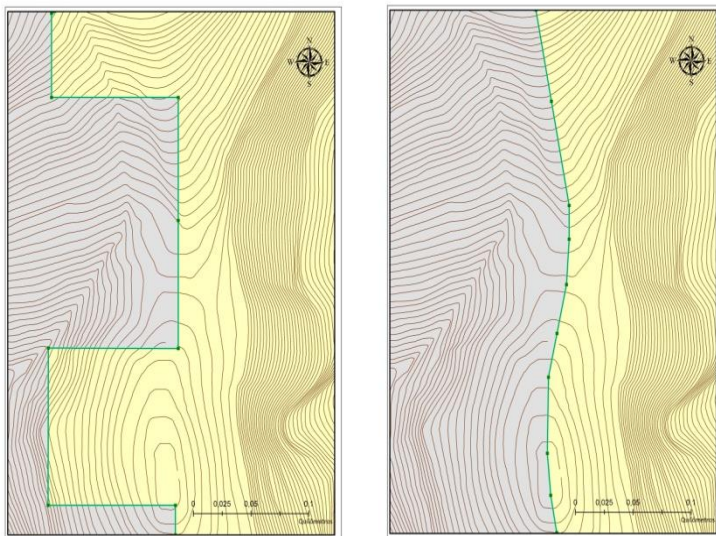


Figura 14: Delineamento preliminar das sub-bacias feito pelo geoprocessamento no ArcGIS (esquerda) e a correção manual (direita).

Fonte: O autor.

4.7.4. Enumeração das sub-bacias

Realizou-se a enumeração das bacias com a finalidade de ordenar e facilitar o trabalho com seus respectivos dados. Optou-se por começar pela bacia do rio João Gualberto, no norte da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição e ao lado da sub-bacia do Rio Vermelho, por ser uma das maiores em dimensões e a que apresenta maior contribuição hidrológica entre as demais. A partir da sub-bacias do rio João Gualberto, seguiu-se enumerando em sentido horário, chegando ao total de 60 sub-bacias.

4.8. VALIDAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Para confirmação e validação dos pontos de descarga obtidas no geoprocessamento com os programas ArcGIS e HEC-GeoHMS, foi realizada a comparação dos resultados com um estudo intitulado de *Registro visual e georeferenciado por GPS de contribuições hidrológicas pontuais à Lagoa da Conceição* de LAURENTI (2009), que foi realizado pela equipe do Laboratório de Hidráulica Marítima (LAHIMAR) da UFSC, por meio de saídas de campo com um barco na Lagoa da Conceição percorrendo toda a orla lagunar.

Esta etapa é relevante dentro deste trabalho, pois dessa maneira é possível demonstrar que através de uma simulação e modelagem teórica que foi possível chegar a resultados muito próximos do que realmente acontece na prática.

Os pontos verdes expostos na Figura 15 representam os locais onde o grupo parou o barco, fazendo a observação visual das descargas, tirando fotos e georeferenciando as coordenadas geográficas com um GPS. E os pontos em vermelho representam as exutórias de cada sub-bacias.

Através desta verificação constatou-se que para praticamente todos os pontos de descarga observados visualmente em campo foram geradas linhas de drenagem e exutórias equivalentes, por meio do geoprocessamento com as ferramentas computacionais, confirmando dessa maneira a validade dos dados.

Para os pontos que apresentaram uma pequena divergência concluiu-se que foi devido ao fato de existir alguns trechos canalizados desviando o trajeto natural dos escoamentos. E pode-se observar também pela Figura 15, que no trabalho de LAURENTI (2009) a observação dos pontos de lançamento foi feita percorrendo a costa oeste e sul da laguna, onde o terreno é mais acidentado e possui o solo com características propícias para gerar escoamento superficial, sendo o oposto do lado leste, onde o terreno é plano e arenoso.

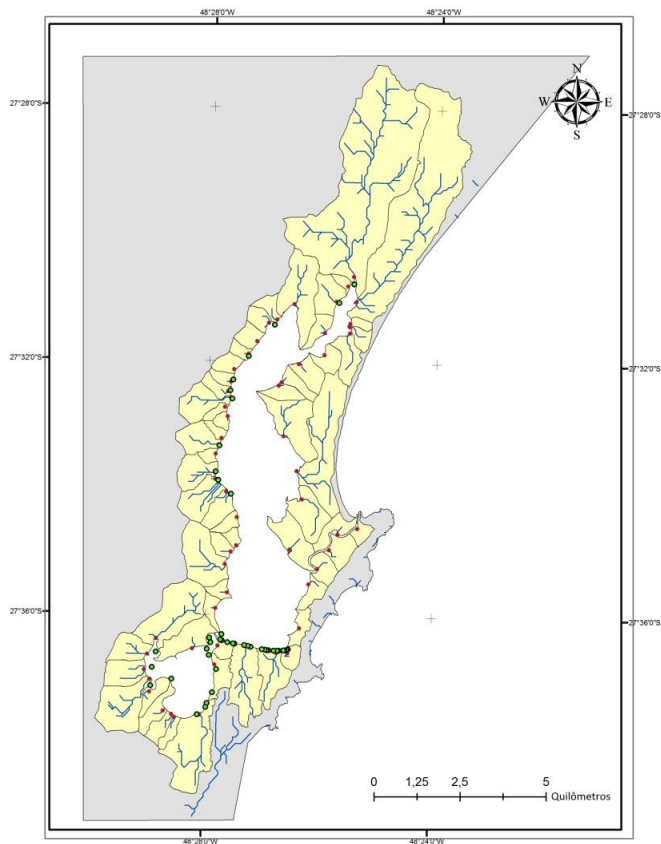


Figura 15: Pontos descarga na laguna, observados visualmente e georeferenciados por GPS no trabalho de LAURENTI (2009).

Fonte: O autor.

4.9. CLASSIFICAÇÃO DOS RIOS EM PERENE OU INTERMITENTE

Na tomada de decisão da classificação das sub-bacias sobre a constância dos rios foram levados em consideração o resultado das exutórias obtido por meio do geoprocessamento, no qual definiu-se os

rios a serem classificados para cada sub-bacia; com o trabalho descrito no item 4.8, *Registro visual e georeferenciado por GPS de contribuições hidrológicas pontuais à Lagoa da Conceição* (LAURENTI, 2009), que relata qualitativamente as descargas no corpo hídrico da Lagoa da Conceição através de uma observação em campo, o qual descreve o tipo de descarga, sua significância e sua frequência.

Constatou-se que os dados deste trabalho de visualização em campo das descargas no corpo hídrico da Lagoa da Conceição estão de acordo com as exutórias obtidas no geoprocessamento, descrevendo sua relevância, características e constância, os quais foram fundamentais para concluir se o rio é perene ou intermitente.

Pode-se comparar assim os resultados obtidos com o que ocorre na prática, servindo de base para classificar o rio em Perene ou Intermitente; sendo que o resultado obtido neste item convergiu com a classificação desenvolvida no trabalho de NETO (2007) para mesma região.

As sub-bacias Perenes são aquelas onde o rio principal é premanente, apresentando um canal definido durante todo o ano; e as sub-bacias denominadas Intermitentes são aquelas que o escoamento superficial depende do nível do lençol freático, permanecendo com o leito seco nos períodos de estiagem. O mapa demonstrando a classificação esta exposto pela figura 23 no item 5.2.2.

4.10. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PARÂMETROS E ÍNDICES

Para interpretar e analisar os dados obtidos na caracterização morfométrica e hidrológica da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição optou-se por fazer um estudo estatístico com o uso do programa Statistica versão 8.0, englobando todas as 60 sub-bacias criadas, para dessa maneira ter subsídios para análise da relevância e da influência que os parâmetros em questão têm entre si.

Foram analisados os parâmetros morfométricos e hidrológicos que se comportam de maneira semelhante na distribuição dos valores entre as 60 sub-bacias, podendo definir quais destes parâmetros serão levados em consideração para realizar o agrupamento das sub-bacias em zonas de mesmas características.

Primeiramente foi feito uma análise sobre a incidência da distribuição dos valores dos parâmetros para cada sub-bacia, sendo que a análise foi feita em cima dos valores de mínimo e máximo, média, mediana, desvio padrão e os limites de ocorrência de 95% dos valores, quartil inferior e superior (onde ocorre a incidência de 75% e 25% dos valores, respectivamente), amplitude e amplitude do quartil, assimetria (que indica o quanto a distribuição dos valores é assimétrica tendo em vista a comparação com um distribuição Gaussiana), e curtose (que exprime o achatamento do pico da distribuição dos valores).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este item tem como finalidade apresentar os resultados obtidos neste trabalho, incluindo mapas, tabelas e gráficos, assim como interpretar e discutir os resultados de forma objetiva.

5.1. GEOPROCESSAMENTO

Os resultados obtidos durante o geoprocessamento, que compreendem os mapas desenvolvidos no programa computacional, serão apresentados e discutidos neste item.

5.1.1. Modelo Digital de Elevação (MDE)

A Figura 16 ilustra o mapa com o MDE obtido a partir do geoprocessamento envolvendo o mapa hipsométrico da bacia hidrográfica com resolução IKONOS II (curva de nível a cada 1 metro), sendo que as altitudes mais elevadas são expostas pela cor marrom, chegando a 490,8 m.; e as mais baixas pela cor azul, chegando ao nível do mar no corpo hídrico da Lagoa da Conceição (0 m. de altitude segundo a referência do marégrafo de Imbituba).

A finalidade da construção deste mapa é para tornar viável o reconhecimento dos dados altimétricos pelo programa computacional, visto que o mesmo não reconhece as curvas de nível na cota Z, ou seja, não reconhece as alturas atribuídas para cada linha hipsométrica. Sendo que no MDE, o programa faz uma triangulação dos pontos gerando uma superfície com células triangulares, e dessa forma é possível trabalhar com as altitudes no geoprocessamento.

Na bacia hidrográfica em questão observa-se duas zonas distintas, dividindo a bacia verticalmente em oeste/leste, onde o relevo na parte oeste da bacia é bem acidentado e com predominância de morros com altitude e declividade elevadas, os quais separam a Lagoa da Conceição da parte central da ilha de Florianópolis; e em oposição a parte leste corresponde a faixa de terra entre a laguna e o oceano, sendo arenosa, plana e de baixa elevação, dividida ao meio (nordeste/sudeste) por uma pequena cadeia de morros, que vai da praia da Joaquina até a Barra da Lagoa.

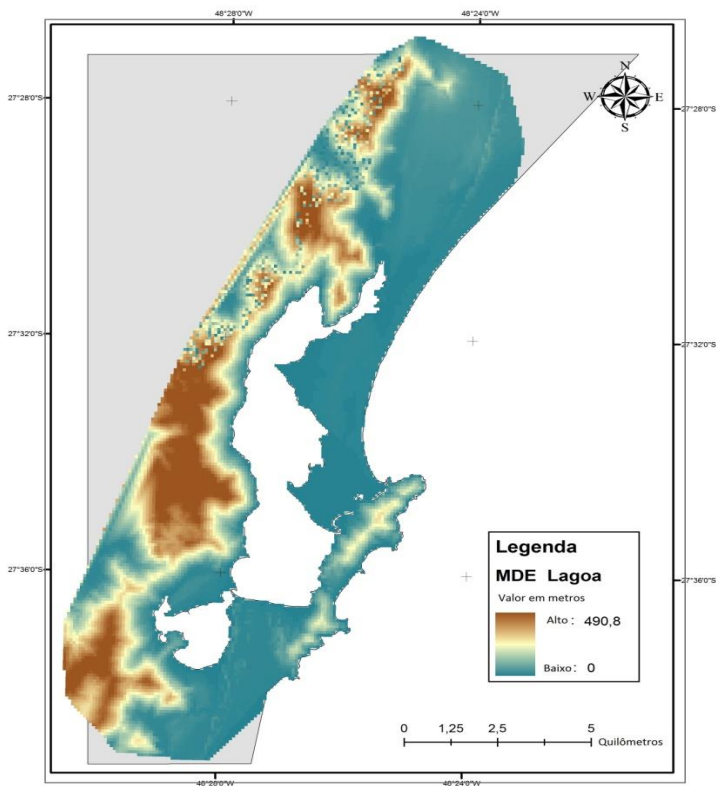


Figura 16: Modelo Digital de Elevação (MDE) da bacia hidrográfica.

Fonte: O autor.

5.1.2. Segmentação preliminar e correção das sub-bacias

A edição realizada seguindo o item 4.7.3 está ilustrada a seguir pela Figura 17, onde a imagem da esquerda representa a segmentação preliminar das áreas de contribuição em sub-bacias gerada pelo programa, sendo apenas uma estimativa, onde não abrange toda área da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição; e na imagem da direita podem-se visualizar as sub-bacias após a edição manual, sendo esta etapa a que demandou maior tempo em todo o processo computacional, pois necessita

de uma correção detalhada da linha de divisor de água das sub-bacias, para que o resultado da simulação se aproxime ao máximo da realidade, contemplando todas áreas que escoam água para dentro da laguna, evitando assim acumular erros durante os passos seguintes.

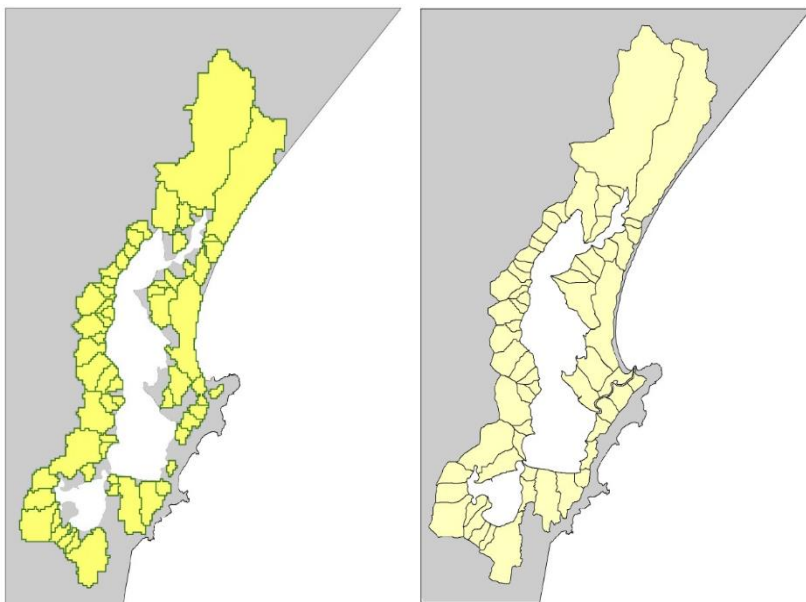


Figura 17: Segmentação preliminar da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição em sub-bacias (esquerda) e o delineamento das sub-bacias após edição manual (direita).
Fonte: O autor.

5.1.3. Sub-bacias com suas respectivas linhas de drenagem e exutórias

Este mapa ilustra as 60 sub-bacias obtidas através do geoprocessamento, indicando as linhas de drenagem e as exutórias para cada sub-bacia encontrada.

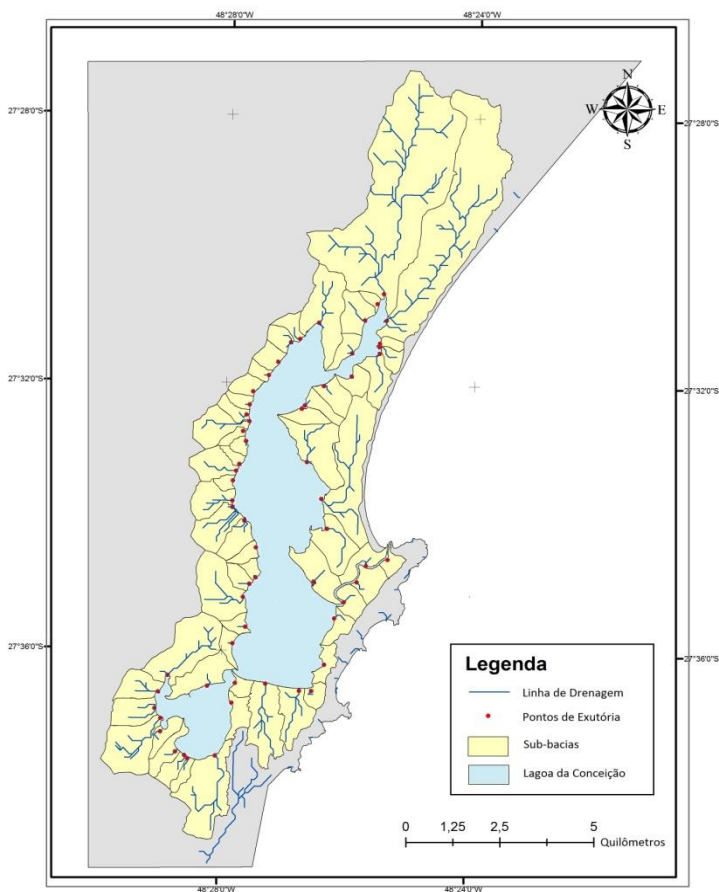


Figura 18: Mapa das sub-bacias da Lagoa da Conceição com suas respectivas linhas de drenagem e exutória.

Fonte: O autor.

5.1.4. Enumeração das sub-bacias

Na Figura 19 a seguir encontram-se as 60 sub-bacias com a numeração proposta no item 4.7.4, começando pela sub-bacia João Gualberto (1) e Rio Vermelho (2) ao norte da bacia hidrográfica. Fazendo um paralelo com o trabalho desenvolvido por NETO (2007), junto ao LAHIMAR, de caracterização da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, o qual chegou ao total de 60 sub-bacias utilizando dados de hipsometria de menor resolução e resultados próximos do obtido no desenvolvimento do presente trabalho, pode-se afirmar que a metodologia proposta foi aplicada de forma consistente.

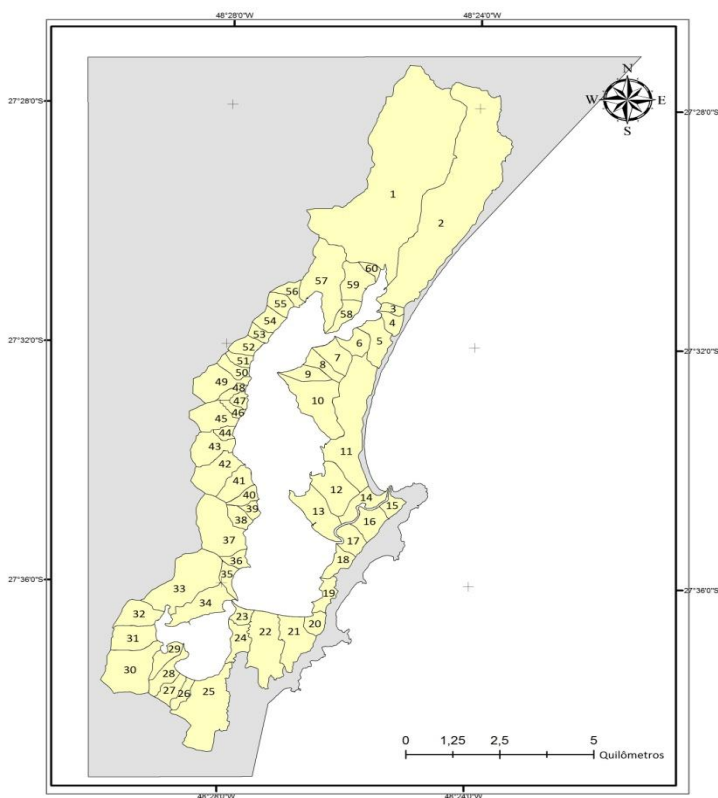


Figura 19: Enumeração das sub-bacias da Lagoa da Conceição.
Fonte: O autor.

5.2. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E HIDROLÓGICA

5.2.1. Hierarquia fluvial segundo Strahler

Com a finalidade de facilitar a visualização, a bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição foi dividida em duas seções, norte e sul, Figura 20 e Figura 21 respectivamente, para aplicação da metodologia proposta por Strahler (1947).

- Seção norte

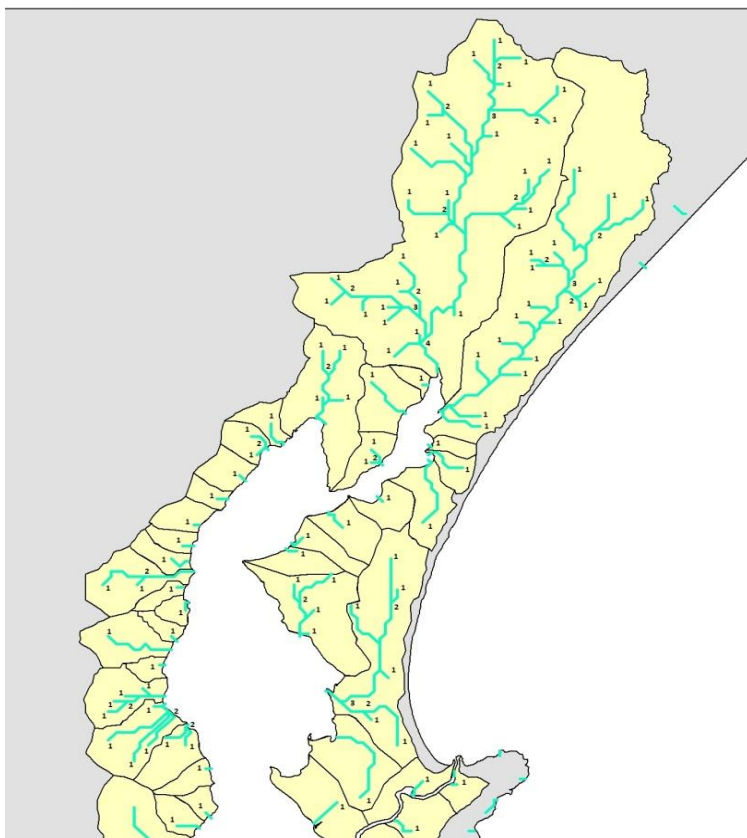


Figura 20: Seção norte da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição com a classificação dos segmentos dos rios em suas respectivas ordens.

Fonte: O autor.

- Seção sul

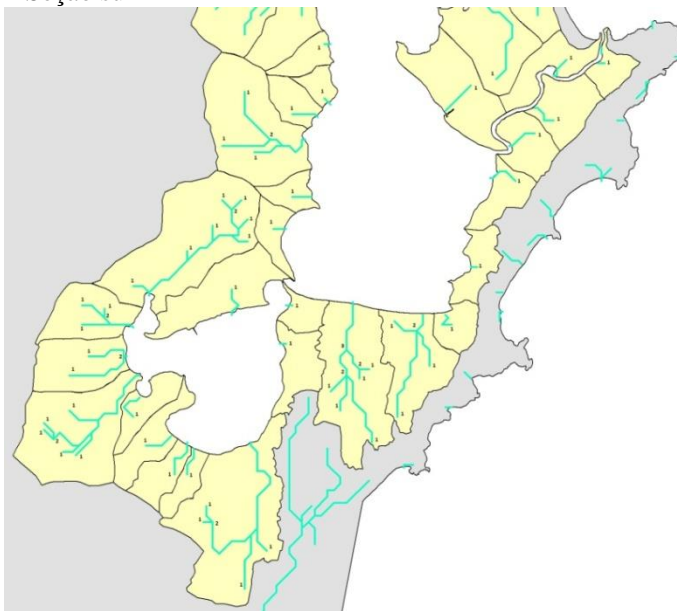


Figura 21: Seção sul da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição com a classificação dos segmentos dos rios em suas respectivas ordens.

Fonte: O autor.

Na Figura 22 foi realizada a segmentação dos rios para as bacias hidrográficas João Gualberto e Rio Vermelho, sendo que a cor verde representa os segmentos de primeira ordem segundo Strahler, cor amarela representa os de segunda ordem, azul claro de terceira ordem e vermelho de quarta ordem. Foram selecionadas estas duas sub-bacias por serem as que apresentam maior contribuição e relevância para a bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, chegando a representar aproximadamente 25% da água doce que entra na laguna em forma de escoamento superficial.

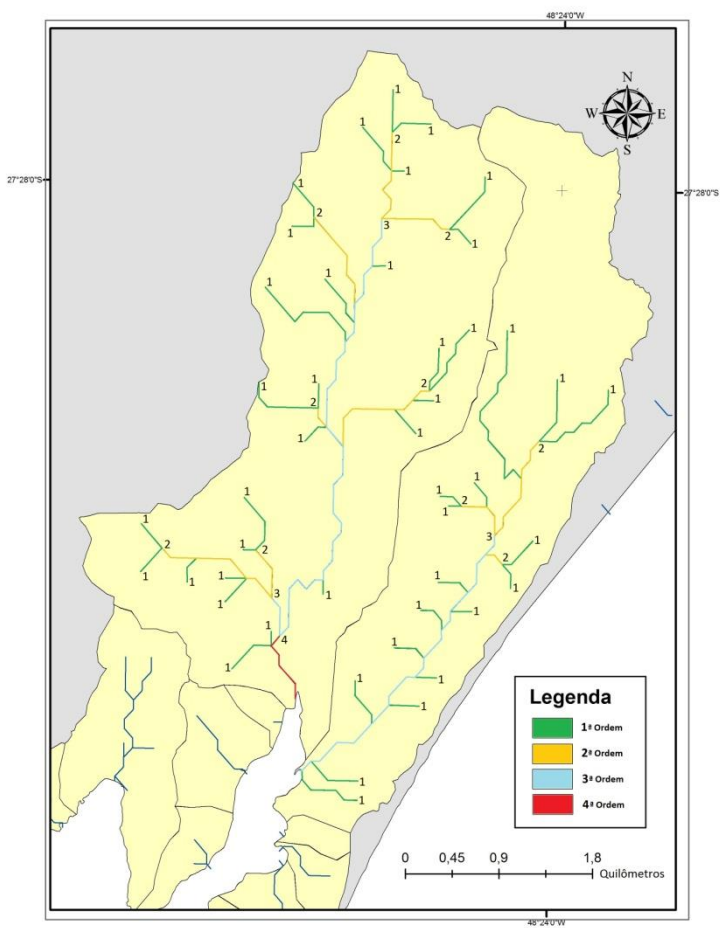


Figura 22: Hierarquia Fluvial – Método de Strahler.

Fonte: O autor.

Os valores de ordem de rios obtidos na aplicação do Método de Strahler para as sub-bacias João Gualberto e Rio Vermelho, conforme a Figura 22 estão dispostos na Tabela 3 e no gráfico 1, cujos valores encontrados para a ordem de rios das sub-bacias foram 4 e 3, respectivamente.

Tabela 3: Hierarquização de rios das sub-bacias João Gualberto e Rio Vermelho segundo Strahler.

Sub-bacias		n1	n2	n3	n4	Ordem de rio
#	Nome	#	#	#	#	#
1	João Gualberto	28	7	2	1	4
2	Rio Vermelho	17	3	1	-	3

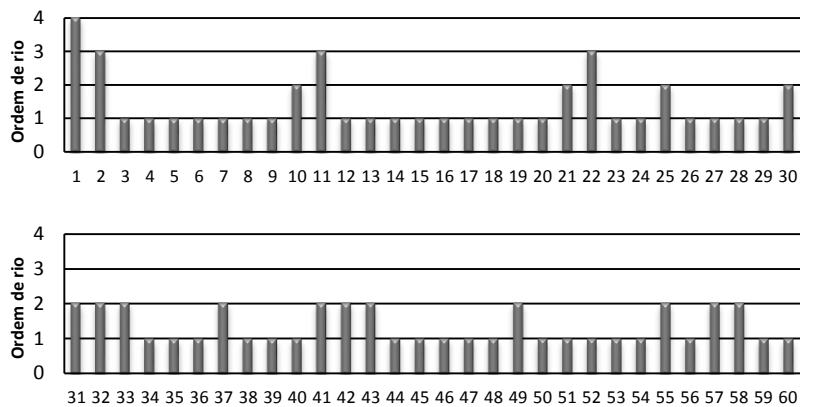


Gráfico 1: Valores de ordem de rios segundo metodologia de Strahler.

5.2.2. Classificação dos rios em Perene ou Intermitente

Na Figura 23 podem-se observar as sub-bacias classificadas de acordo com a constância dos seus rios, como foi abordado anteriormente no item 4.9. As sub-bacias que estão em cor laranja representam as Perenes e as que estão em cor verde representam as sub-bacias Intermitentes.

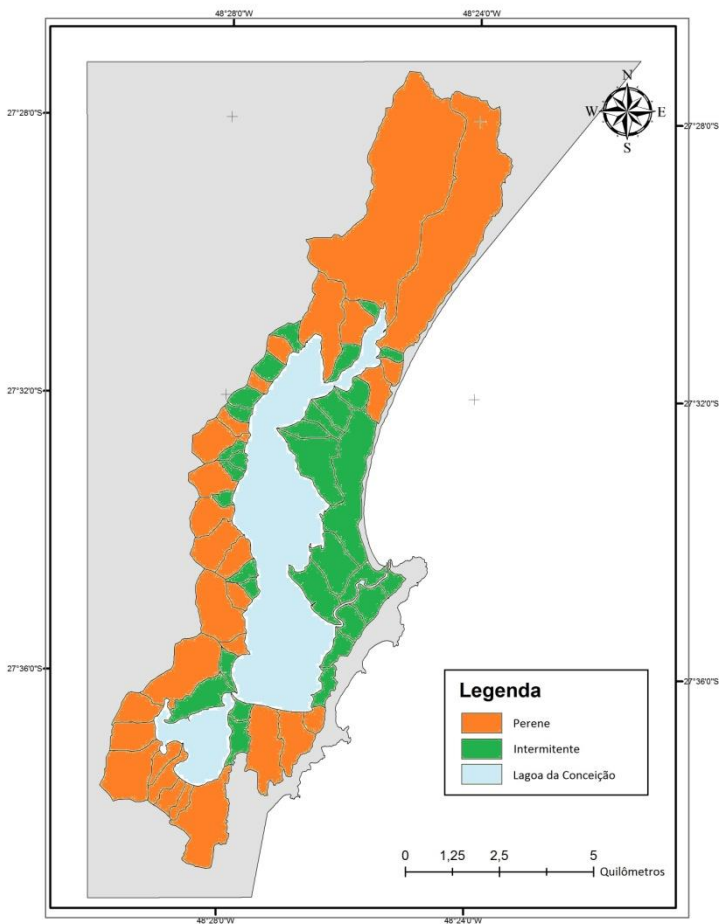


Figura 23: Classificação das sub-bacias de acordo com a constância dos rio.
Fonte: O autor.

No Gráfico 2 a seguir pode-se observar a distribuição das áreas superficiais em quilômetros e em porcentagem para as 60 sub-bacias. Mesmo que o número de sub-bacias perenes (29 sub-bacias) e intermitentes (31 sub-bacias) seja praticamente o mesmo, tem-se que a

área superficial das sub-bacias Intermitentes representa aproximadamente $\frac{1}{4}$ do total, devido ao fato de que as maiores sub-bacias geralmente apresentam um curso d'água bem definido, o que contribui para esta diferença em relação à área superficial das sub-bacias Perenes

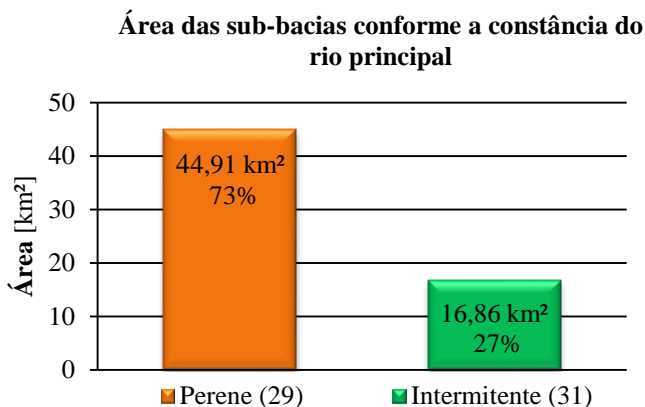


Gráfico 2: Distribuição de área das sub-bacias de acordo com a constância de rios.

5.2.3. Tabela dos dados hidrológicos

A seguir, na Tabela 4 estão expostos apenas os valores encontrados para os parâmetros descritos no item 3.4 para as sub-bacias João Gualberto e Rio Vermelho, que são as duas com maior relevância hidrológica em toda bacia hidrográfica. Para as demais sub-bacias, os valores encontram-se no item 0 (ANEXOS).

Sendo eles: coeficiente *Curve-Number* (CN), Retenção Potencial Máxima (S) e Abstração Inicial (I_a) para as três condições de umidade descritas pelo método *Curve-Number*, condição seca (CN_I), normal (CN_{II}) e úmida (CN_{III}) para todas 60 sub-bacias delimitadas neste estudo.

Tabela 4: Valores para os parâmetros hidrológicos CN, S e Ia.

		CurverNumber			Reteção Potencial Máxima			Abstração Inicial		
Sub-bacia		CN I	CN II	CN III	S I	S II	S III	Ia I	Ia II	Ia III
#	Nome	-	-	-	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	João Gualberto	46	67	82	298	125	54	60	25	11
2	Rio Vermelho	36	57	75	456	192	83	91	38	17

5.2.4. Escoamento Superficial e Volume Escoado

Nas Tabela 5 e Tabela 6 a seguir podem-se visualizar os resultados obtidos para as duas primeiras sub-bacias, João Gualberto e Rio Vermelho, considerando a umidade em condições normais (CN II), onde as cores mais escuras representam valores elevados e as cores claras indicam valores baixos.

Os cálculos foram realizados para as 60 sub-bacias, considerando eventos de precipitação constante por um período de 1 hora com diferentes níveis de intensidade (10, 25, 50, 75, 100, 125, 200 mm), tendo que optou-se por demonstrar com o gráfico 3 os valores para o Volume escoado correspondente a um evento de precipitação constantes e uniforme de 200 mm., que é uma condição de chuva forte e a mais intensa entre as propostas. Também foram calculados para outras duas condições de umidade do solo (CN I e CN III).

Dessa maneira pode-se fazer uma análise quantitativa para determinar a relevância hidrológica de cada uma delas e agrupá-las, posteriormente, em grupos de características morfológicas e hidrológicas semelhantes.

Tabela 5: Escoamento Superficial em condições normais de umidade (CN II).

		Precipitação [mm]						
		10	25	50	75	100	125	200
Sub-bacia		Escoamento Superficial						
#	Nome	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	João Gualberto	0	0	4	14	28	44	102
2	Rio Vermelho	0	0	1	6	15	27	74

Tabela 6: Volume escoado na superfície em condições normais de umidade (CN II).

		Precipitação [mm]						
		10	25	50	75	100	125	200
Sub-bacia		Volume Total Escoado						
#	Nome	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	João Gualberto	-	-	52	179	352	556	1.277
2	Rio Vermelho	-	-	6	51	131	235	644

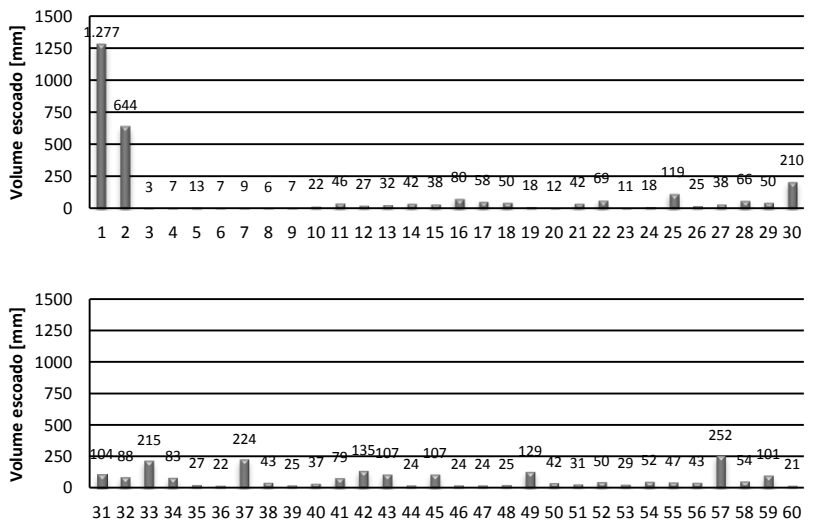


Gráfico 3: Volume escoado superficialmente em condições normais de umidade (CN II) para uma precipitação constante de 200 mm.

5.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PARÂMETROS E ÍNDICES

A seguir nas Tabela 8 e Tabela 9 estão expostos os dados encontrados para os valores de mínimo e máximo, média, mediana, desvio padrão os limites de ocorrência de 95% dos valores para cada parâmetro encontram, os valores de incidência de cada parâmetro para o Quartil inferior e superior, Amplitude e Amplitude do quartil, Assimetria, e Curtose.

Observa-se pelas tabelas a seguir que em relação a distribuição espacial das sub-bacias (Área e Perímetro) existem uma grande variação de valores, levando em consideração os elevados índices de assimetria e curtose, que exprime que a distribuição de valores é bem heterogênea, o que de fato pode ser comprovado nos mapas gerados, onde há sub-bacias bem pequenas em relação as maiores. A mesma análise pode ser feita para os índices Comprimento do rio principal e Declividade do talvegue, pois são parâmetros que estão diretamente ligados, como mostra a tabela do item 5.3.1.

Em termos dos parâmetros hidrológico, uma análise que pode-se destacar é a grande variação na distribuição dos valores do Volume escoado pelas sub-bacias, tendo em vista os valores de mínimo e máximo, desvio padrão, assimetria e curtose, todos estes parâmetros expressam que existem muitas sub-bacias com pouca relevância hidrológica dentro da bacia hidrográfica, mas que somadas suas contribuições tornam-se significativas; e outras poucas com grande importância como é indicado pelo Quartil Superior, onde 75% das sub-bacias apresentam uma contribuição total no volume escoado abaixo de 36,6 mm e dentro dos 25% restantes encontram-se sub-bacias com valores acima de 10 vezes maior, tal análise sobre a relevância das sub-bacias de acordo com o volume escoado pode ser feita através do índice de confiança (incidência) de 95%.

Tabela 7: Legenda dos parâmetros físicos e hidrológicos.

Parâmetros Físicos			Parâmetros Hidrológicos		
P	Perímetro	km	Urb.	Urbanização	%
A	Área	km ²	t _c	Tempo de concentração	min
K _c	Índice de Compacidade	-	CN _{II}	Curve-Number II	-
I _c	Índice de Circularidade	-	S	Retenção potencial máxima	mm
K _f	Coefficiente de forma	-	I _a	Abstração inicial	mm
D _r	Densidade de rios	-	Q _{sup}	Escoamento superf.	mm
I _s	Índice de Sinuosidade	-	V _{esc}	Volume escoado, 200 mm.	mm
Strahler	Ordem Strahler	-			
D _d	Densidade de Drenagem	-			
L _{rp}	Compr. do rio principal	km			
S _{tv}	Declividade do talvegue	m/m			

Tabela 8: Dados estatísticos dos parâmetros físicos encontrados para as 60 sub-bacias.

	P	A	K _c	I _c	K _f	D _r	I _s	Strahler	D _d	L _{TP}	D _{TV}
	km	km ²	-	-	-	-	-	-	-	km	m/m
Mínimo	1,76	0,16	1,1	0,3	0,2	0,9	0,7	1,0	0,2	0,1	0,0002
Máximo	19,58	12,52	1,8	0,8	2,7	8,3	2,6	4,0	3,1	6,8	0,0038
Amplitude	17,82	12,36	0,7	0,5	2,5	7,5	2,0	3,0	3,0	6,8	0,0037
Média	4,36	1,03	1,4	0,5	0,6	3,4	1,2	1,4	1,1	0,9	0,0007
Desvio Padrão	3,34	1,93	0,2	0,1	0,4	1,6	0,3	0,7	0,7	1,3	0,0007
Confiança de 95%	3,49 - 5,22	0,53 - 1,53	1,3 - 1,4	0,5 - 0,6	0,5 - 0,8	3,0 - 3,8	1,1 - 1,2	1,2 - 1,6	0,9 - 1,3	0,5 - 1,2	0,0005 - 0,0008
Assimetria	3,23	4,82	0,6	0,0	2,7	0,8	3,2	1,8	0,6	3,1	3,3
Curtose	12,15	25,28	-0,5	-0,9	9,0	0,4	15,2	3,2	0,0	11,4	13,06
Quartil Inferior	2,56	0,31	1,2	0,4	0,4	2,4	1,0	1,0	0,5	0,2	0,0003
Mediana	3,35	0,44	1,4	0,5	0,5	3,0	1,1	1,0	1,0	0,4	0,0004
Quartil Superior	4,62	0,99	1,5	0,6	0,7	4,4	1,2	2,0	1,5	1,2	0,0008
Amplitude do Quartil	2,07	0,68	0,3	0,2	0,3	2,1	0,2	1,0	1,0	1,0	0,0005

Tabela 9: Dados estatísticos dos parâmetros hidrológicos encontrados para as 60 sub-bacias.

	Urb.	t _c	CN _{II}	S	I _a	Q _{sup}	V _{esc}
	%	min	-	mm	mm	mm	mm
Mínimo	0,00	3,83	32,0	67,5	13,5	0,5	0,3
Máximo	0,44	140,97	79,0	539,8	108,0	69,4	556,0
Amplitude	0,44	137,14	47,0	472,2	94,4	68,9	555,7
Média	0,06	19,90	63,1	191,4	38,3	42,3	37,9
Desvio Padrão	0,10	26,13	17,3	160,9	32,2	26,7	78,2
Confiança de 95%	0,034 - 0,085	13,1 - 26,7	58,6 - 67,5	149,9 - 233,0	30,0 - 46,6	35,4 - 49,2	17,7 - 58,1
Assimetria	2,55	2,73	-0,7	1,1	1,1	-0,6	5,4
Curtose	6,86	8,30	-1,2	-0,4	-0,4	-1,5	33,8
Quartil Inferior	0,00	5,47	45,0	75,9	15,2	10,6	7,3
Mediana	0,01	8,87	74,0	89,2	17,8	58,5	17,3
Quartil Superior	0,08	23,96	77,0	310,7	62,1	65,0	36,3
Amplitude do Quartil	0,08	18,49	32,0	234,9	47,0	54,3	29,0

5.3.1. Correlação entre os parâmetros estudados

A Tabela 10: Relação não-paramétrica entre os parâmetros analisados, desenvolvida com o programa Statistica 8. Tabela 10 foi desenvolvida com o auxílio do programa computacional Statistica, com a finalidade de fazer uma correlação entre parâmetros estudados, ou seja, visualizar a similaridade nas distribuições dos valores entre os parâmetros para cada sub-bacia, observando quais deles tem influência direta ou indireta e os que são independentes entre si.

Sendo assim, os valores dispostos na tabela a seguir expressam que dois parâmetros são diretamente interligados quanto mais próximo do valor 1,0 for essa relação, sendo representado pelas cores mais escuras na Tabela 10; do lado oposto, representado pelas cores mais claras, os valores próximos de zero, indicam que os dois parâmetros em questão são independentes entre si, não havendo correlação em suas distribuições de valores.

Optou-se por fazer esse tipo de análise, pois dessa forma é possível selecionar parâmetros que expressam diferentes aspectos, na hora de realizar o agrupamento das sub-bacias, ao invés de analisar todos os parâmetros encontrados, sendo que muitos estariam fornecendo a mesma informação.

Dessa forma é de fácil visualização a correlação entre os parâmetros, como por exemplo o Tempo de concentração (t_c), que sofre influência dos parâmetros de dimensão da sub-bacia (Perímetro e Área), das características dos rios (Declividade do talvegue e Comprimento do rio principal), e os parâmetros relacionados a infiltração da água no solo (CN, Retenção potencial máxima, Abstração inicial e Escoamento superficial).

Outra análise que fica clara com o auxílio desta tabela é a forte relação entre o Comprimento do rio principal com a Densidade de rios; a Declividade do talvegue com a Área da sub-bacia, podendo-se chegar a conclusão que quanto menor a área da sub-bacia, maior será a Declividade do talvegue. São análises que poderiam ser feitas mentalmente por uma pessoa bem instruída no assunto, mas dessa forma é possível analisar de forma quantitativa estas relações.

Tabela 10: Relação não-paramétrica entre os parâmetros analisados, desenvolvida com o programa Statistica 8.

Unid.	Variável	Abrev.	P	A	K _c	K _f	D _r	I _s	Stra.	D _d	L _{rp}	D _{tv}	Urb.	t _c	CN _{II}	V _{esc}
km	Perímetro	P	1,00	0,96	0,51	0,02	-0,50	0,37	0,62	0,46	0,79	0,94	0,23	0,70	-0,39	0,39
km²	Área	A	0,96	1,00	0,28	0,02	-0,47	0,44	0,69	0,54	0,85	0,96	0,16	0,69	-0,34	0,46
-	Índice de compactidade	K _c	0,51	0,28	1,00	-0,05	-0,30	-0,04	0,08	-0,06	0,16	0,36	0,33	0,37	-0,44	-0,14
-	Coeficiente de forma	K _f	0,02	0,02	-0,05	1,00	-0,27	-0,13	-0,23	-0,43	-0,26	0,04	0,18	-0,22	-0,02	-0,01
-	Densidade de rios	D _r	-0,50	0,47	-0,30	-0,27	1,00	-0,20	0,26	0,17	-0,25	-0,64	-0,22	-0,41	0,37	-0,01
-	Índice de sinuosidade	I _s	0,37	0,44	-0,04	-0,13	-0,20	1,00	0,35	0,54	0,61	0,42	0,08	0,34	-0,10	0,29
-	Ordem Strahler	Strahler	0,62	0,69	0,08	-0,23	0,26	0,35	1,00	0,71	0,71	0,52	-0,02	0,42	-0,06	0,51
-	Densidade de drenagem	D _d	0,46	0,54	-0,06	-0,43	0,17	0,54	0,71	1,00	0,86	0,41	-0,03	0,43	-0,05	0,40
km	Comp. do rio principal	L _{rp}	0,79	0,85	0,16	-0,26	-0,25	0,61	0,71	0,86	1,00	0,79	0,10	0,67	-0,24	0,47
m/m	Declividade do talvegue	D _{tv}	0,94	0,96	0,36	0,04	-0,64	0,42	0,52	0,41	0,79	1,00	0,19	0,71	-0,41	0,36
%	Urbanização	Urb.	0,23	0,16	0,33	0,18	-0,22	0,08	-0,02	-0,03	0,10	0,19	1,00	0,21	-0,30	0,01
min	Tempo de concentração	t _c	0,70	0,69	0,37	-0,22	-0,41	0,34	0,42	0,43	0,67	0,71	0,21	1,00	-0,75	-0,10
-	CN _{II}	CN _{II}	-0,39	0,34	-0,44	-0,02	0,37	-0,10	-0,06	-0,05	-0,24	-0,41	-0,30	-0,75	1,00	0,56
mm	Volume Escoado, 200 mm	V _{esc}	0,39	0,46	-0,14	-0,01	-0,01	0,29	0,51	0,40	0,47	0,36	0,01	-0,10	0,56	1,00

Os gráficos a seguir (4 e 5) demonstram as relações entre os parâmetros selecionados, ilustrando a distribuição espacial dos dados, no qual o primeiro gráfico (4) da Área pelo Perímetro para cada sub-bacia, segundo a Tabela 10 possui um forte relação entre si (0,96) onde, quanto maior um, maior será o outro parâmetro.

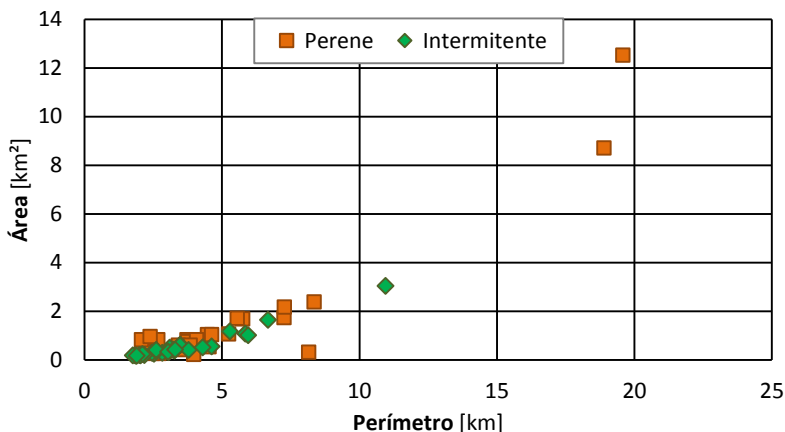


Gráfico 4: Área x Perímetro.

No gráfico 5, de Comprimento do rio principal pela Declividade média do talude, observa-se uma diferença em relação ao comprimento do rio principal entre as classes de rio Perenes e Intermitentes. Outro fator a ser analisado neste gráfico é que as sub-bacias divididas em dois grupos em relação declividade média do talvegue, onde as sub-bacias com baixa declividade correspondem as sub-bacias do lado leste, como discutido no item 5.1.1, e demais sub-bacias, que apresentam declividades elevadas representam o lado montanhoso oeste.

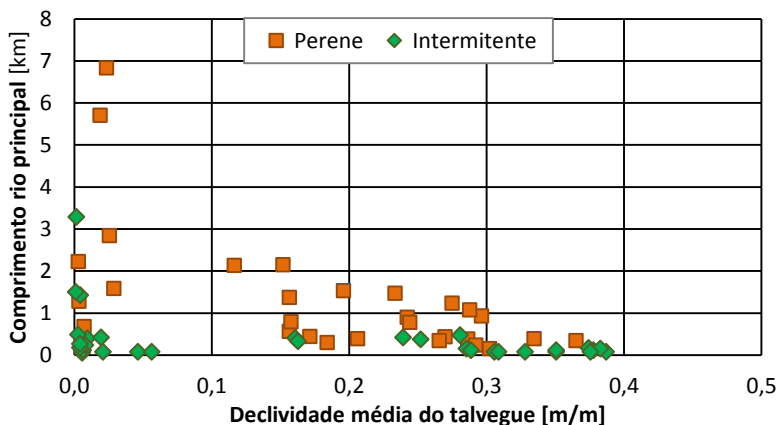


Gráfico 5: Comprimento do rio principal e declividade média do talude.

5.4. SETORIZAÇÃO DAS SUB-BACIAS EM ZONAS DE MESMAS CARACTERÍSTICAS

Este item foi proposto com a finalidade de realizar a setorização da bacia hidrográfica por meio da análise dos resultados obtidos com o geoprocessamento e da caracterização morfométrica e hidrológica desenvolvidos neste trabalho. Tendo em vista que com esta segmentação em zonas de mesmas características será possível distinguir de forma concreta as diferentes áreas da bacia hidrográfica, com seus diferentes comportamentos hidrológicos, caracterizando assim, os grupos qualitativamente e quantitativamente o que facilitará o trabalho e interpretação do espaço físico da Lagoa da Conceição, e isto é de elevada importância no que diz respeito a gestão e manejo da bacia hidrográfica.

Na Figura 24 pode ser observado o mapa da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição com a setorização proposta, sendo que na Tabela 11 estão discriminados os valores dos parâmetros relevantes selecionados com critério na correlação entre os parâmetros, fundamentados na análise estatística nos itens 4.10 e 5.3.1.

Logo, no que diz respeito às sub-bacias, juntamente com a análise estatística sobre estes dados, pode-se chegar à conclusão que a bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição deve ser dividida em seis setores distintos englobando sub-bacias de características e comportamentos semelhantes. Sendo eles:

➤ **Norte:** compreende as duas maiores e mais relevantes sub-bacias (João Gualberto e Rio Vermelho) sendo responsáveis por cerca 24% da contribuição hidrológica descarregada na corpo hídrico da Lagoa da Conceição após um evento de chuva. Possuem valores medianos para declividade média de talvegue, urbanização e coeficiente CN, entretanto a área superficial das duas sub-bacias corresponde aproximadamente 35% da área total da bacia hidrográfica, o que faz com que a contribuição hidrológica deste setor tenha grande relevância.

➤ **Leste:** sub-bacias com baixo valor de coeficiente CN, devido ao tipo de solo presente (areias quartzóicas e marinhas) e baixa ocupação urbana; e declividade do talude é praticamente plana neste setor. Tais características definem uma contribuição hidrológica quase nula para a laguna, sendo que praticamente toda chuva que precipita nesta região infiltra no solo, inclusive nas condições de umidade do solo elevada (CN III).

➤ **Canal:** setor com elevada urbanização (média de aproximadamente 15%), o que implica em um elevado valor para o coeficiente CN, mesmo que o tipo de solo se caracterize por ser composto por areias marinhas. Considerando que grande parte do escoamento superficial neste setor é descarregada no próprio canal da Barra da Lagoa, que liga a Lagoa da Conceição com o Oceano Atlântico, o volume total escoado é baixo, representando 6% do volume total.

➤ **Arenosa:** região com contribuição hidrológica baixa, assim como no setor Leste, possuiria o valor do coeficiente CN baixo se fosse considerada apenas as características do solo que é composto por dunas e areias marinhas e quartzóicas, que por sua vez faz com que boa parte precipitação infiltre pelo solo, consequentemente havendo baixo escoamento superficial. Entretanto esta região apresenta urbanização considerável, o que faz com que o CN tenha um valor mediano.

➤ **Centro-sul:** zona que engloba a parte mais urbanizada da bacia hidrográfica, que é o Centrinho da Lagoa, possui um elevado valor de CN e nível mediano de declividade média do talvegue. Possui uma contribuição hidrológica relevante, cerca de 17% do total, sem contar as descargas que a laguna recebe de contribuição antrópicas.

➤ **Oeste:** grupo com maior número de sub-bacia, as quais caracterizam-se por serem pequenas comparadas com as restantes, bem

arborizadas, com baixa urbanização e alta declividade média do talvegue. Mesmo possuindo uma vegetação densa, o que proporciona uma interceptação da chuva que acarretaria em um valor de CN mais baixo, os valores encontrados para este coeficiente nas sub-bacias da zona Oeste os mais elevados na bacia hidrográfica, pois em sua totalidade o tipo de solo (Argissolo) encontrado proporciona uma baixa infiltração da água, consequentemente, um elevado escoamento superficial. Sendo assim, este setor é responsável por aproximadamente $\frac{1}{4}$ de toda contribuição hidrológica que é descarregada no corpo hídrico da Lagoa da Conceição, distribuída por uma longa faixa, diferentemente do setor Norte, que é responsável por cerca 36% do volume que entra na laguna proveniente da precipitação, descarregando em apenas duas exutórias.

Tabela 11: Dados utilizados na setorização das 60 sub-bacias da Lagoa da Conceição obtidas no geoprocessamento.

Setor	Nº sub-bacias	Área		CN _{II} médio	Declividade média do talvegue	Urbanização média	Volume escoado para CN _{II} e P _i = 200 mm	
[Nome]	#	[km²]	[%]	-	[m/m]	[%]	[mm]	[%]
Norte	2	21,22	34,4%	62	0,021	9,4%	2.936	36,4%
Leste	11	9,99	16,2%	35	0,005	2,2%	672	8,3%
Canal	5	2,34	3,8%	72	0,192	15,5%	362	4,5%
Arenosa	7	6,65	10,8%	45	0,052	10,7%	652	8,1%
Centro - Sul	11	8,57	13,9%	68	0,190	13,4%	1.292	16,0%
Oeste	24	13,00	21,0%	77	0,304	0,6%	2.149	26,7%
	Total	Total	Total	Média	Média	Média	Total	Total
Lagoa da Conceição	60	61,77	100%	60	0,180	8,6%	8.061	100%

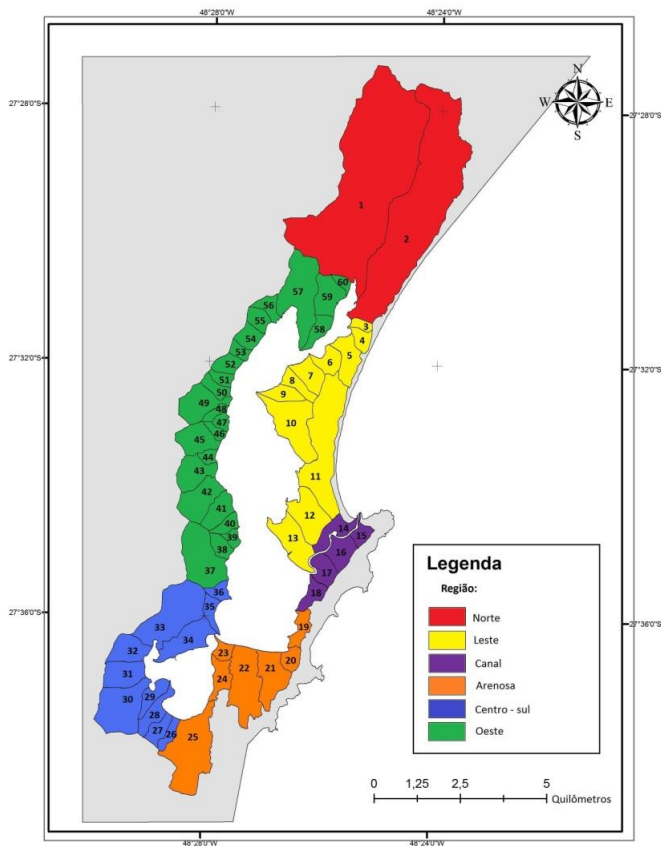


Figura 24: Zoneamento da bacia hidrográfica obtidas no geoprocessamento pré-agrupamento.

Fonte: O autor.

5.5. AGRUPAMENTO DAS SUB-BACIAS

O objetivo desta etapa do trabalho é realizar o agrupamento de determinadas sub-bacias realizando uma comparação dos parâmetros estudados em cada sub-bacia, levando em consideração suas características espaciais (localidade); físicas (Declividade média do

talvegue e Tipo de solo); hidrológicas (coeficiente CN, Escoamento Superficial e Volume escoado); uso e ocupação do terreno (urbanização e vegetação existente).

No gráfico 6 demonstra o coeficiente CN, destacando na cor verde as sub-bacias agrupadas; e no gráfico 7 o mesmo é feito para o parâmetro Declividade média do talvegue, mas na cor azul; os quais demonstram a semelhança de valores entre as sub-bacias agrupadas.

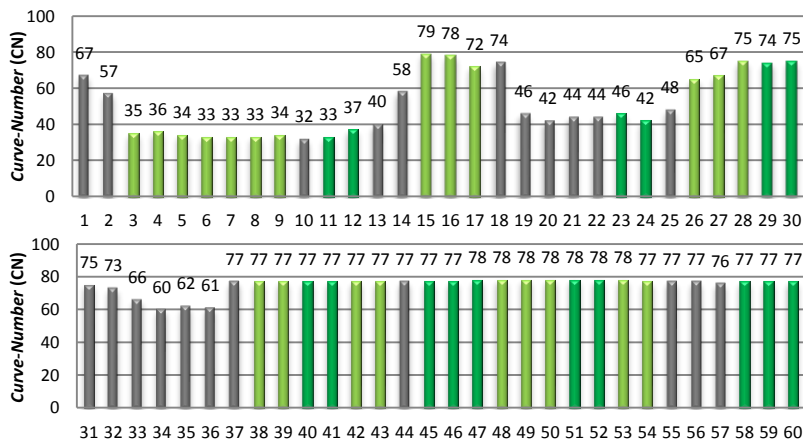


Gráfico 6: Coeficiente *Curve-Number* (CN) para as 60 sub-bacias.

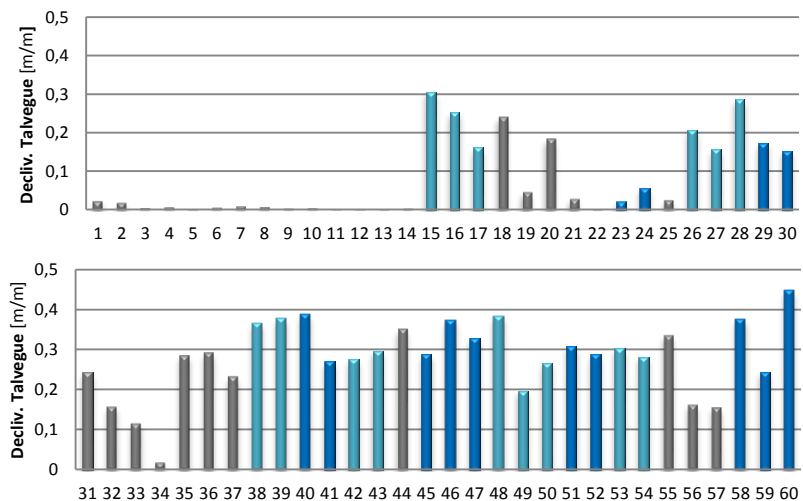


Gráfico 7: Declividade média do talvegue (S_v) para as 60 sub-bacias.

Sendo assim, de acordo com estes itens, alteraram-se o número total de sub-bacias em 14 a menos, resultando na redução de 60 para 36 sub-bacias. Foram realizadas somas e obtidos valores médios ponderados para os parâmetros das novas sub-bacias, os quais estão expostos nos gráficos em ANEXOS (item 0).

Com esta nova segmentação da bacia hidrográfica, totalizando 36 sub-bacias, pode-se fazer um paralelo com a dissertação desenvolvida por ODRSKI (2012), o qual, em sua pesquisa, baseou-se na divisão da bacia hidrográfica, chegando a um resultado bem próximo do desenvolvido neste trabalho, totalizando 39 zonas hidrológicas independentes.

O resultado desta etapa pode ser visualizado na Tabela 12 que discrimina quais sub-bacias foram agrupadas formando novas sub-bacias com os valores somados e médios, dependendo de que parâmetro foi analisado. Para a obtenção da área da nova sub-bacias, assim como para o volume escoado foi utilizado o somatório dos valores; já para obtenção da urbanização, CN e declividade média do talvegue foram feitas médias ponderadas.

A

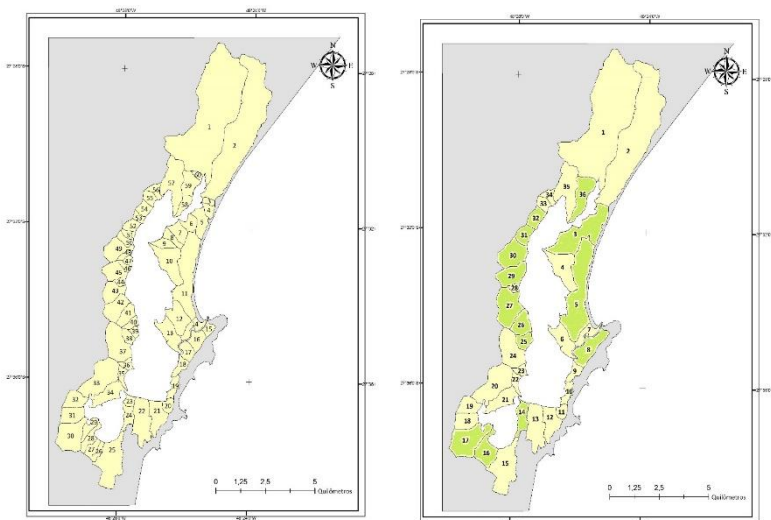


Figura 25 apresenta o mapa das sub-bacias antes e depois do agrupamento, esquerda e direita, respectivamente.

Tabela 12: Sub-bacias antes e depois de realizar o agrupamento.

Antes do Agrupamento (60 sub-bacias)	Depois do Agrupamento (36 sub-bacias)	Antes do Agrupamento (60 sub-bacias)	Depois do Agrupamento (36 sub-bacias)
#	#	#	#
1	1	32	19
2	2	33	20
3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9	3	34	21
5	4	35	22
11 e 12	5	36	23
13	6	37	24
14	7	38 e 39	25
15, 16 e 17	8	40 e 41	26
18	9	42 e 43	27
19	10	44	28
20	11	45, 46 e 47	29
21	12	48, 49 e 50	30
22	13	51 e 52	31
23 e 24	14	53 e 54	32
25	15	55	33
26, 27 e 28	16	56	34
29 e 30	17	57	35
31	18	58, 59 e 60	36

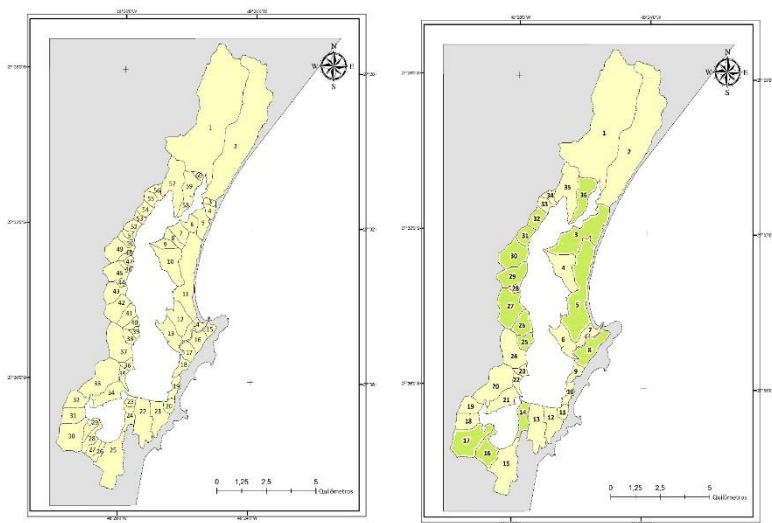


Figura 25: Sub-bacias obtidas com o geoprocessamento (esquerda) e agrupamento das sub-bacias na cor verde após análise de suas características (direita).

Fonte: O autor.

5.5.1. Setorização das sub-bacias em zonas de mesmas características após agrupamento

A mesma análise realizada no item 5.4 pode ser feita aqui, porém com o auxílio da

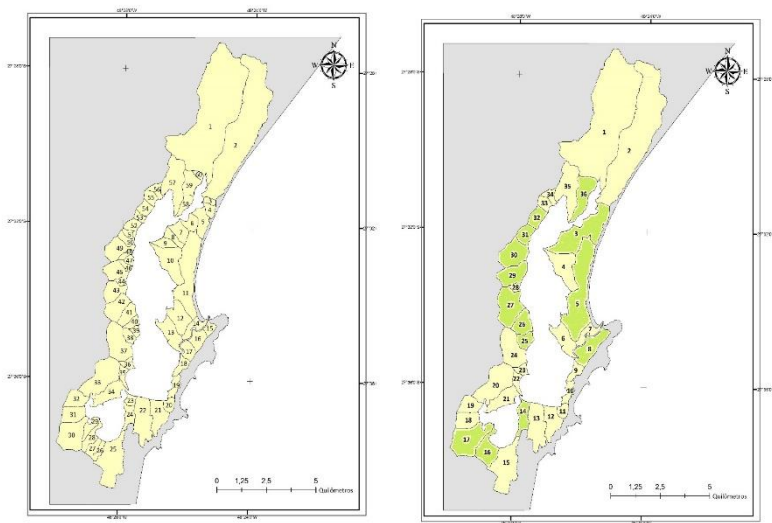


Figura 25 e da Tabela 13, dispostas a seguir, chegando a mesma setorização das sub-bacias, sendo que neste item o número de sub-bacias é reduzido, o que facilita o trabalho e a gestão do terreno dividido em sub-bacias, como descrito no item anterior.

Observa-se que os setores que mais sofreram alterações em relação a quantidade de sub-bacias foram o Leste e o Oeste, passando do total de 11 para 4, e de 24 para 13 sub-bacias respectivamente, os quais sofrendo apenas ligeiras alterações nos valores de Declividade média do talvegue, Urbanização e Contribuição hidrológica. Os demais setores que tiveram mudanças em suas sub-bacias (Canal, Arenosa e Centro-Sul) também sofreram pequenas alterações nos parâmetros citados acima, entretanto os valores totais de área e CN permaneceram constantes para todos os setores.

Tabela 13: Dados utilizados na setorização das sub-bacias da Lagoa da Conceição após o agrupamento das mesmas.

Setor	Nº sub-bacias	Área		CN _{II} médio	Declividade média do talvegue	Urbanização média	Volume escoado para CN _{II} e P _i = 200 mm	
[Nome]	#	[km²]	[%]	-	[m/m]	[%]	[mm]	[%]
Norte	2	21,22	34,4%	63	0,0215	9,7%	2.936	36,4%
Leste	4	9,99	16,2%	35	0,0027	2,9%	685	8,5%
Canal	3	2,34	3,8%	72	0,1375	17,0%	402	4,5%
Arenosa	6	6,65	10,8%	45	0,0287	11,7%	788	8,1%
Centro - Sul	8	8,57	13,9%	69	0,1529	12,5%	1.396	16,0%
Oeste	13	13,00	21,0%	77	0,2455	0,6%	1.867	26,6%
	Total	Total	Total	Média	Média	Média	Total	Total
Lagoa da Conceição	36	61,77	100,0%	60	0,180	9,1%	8.074	100,0%

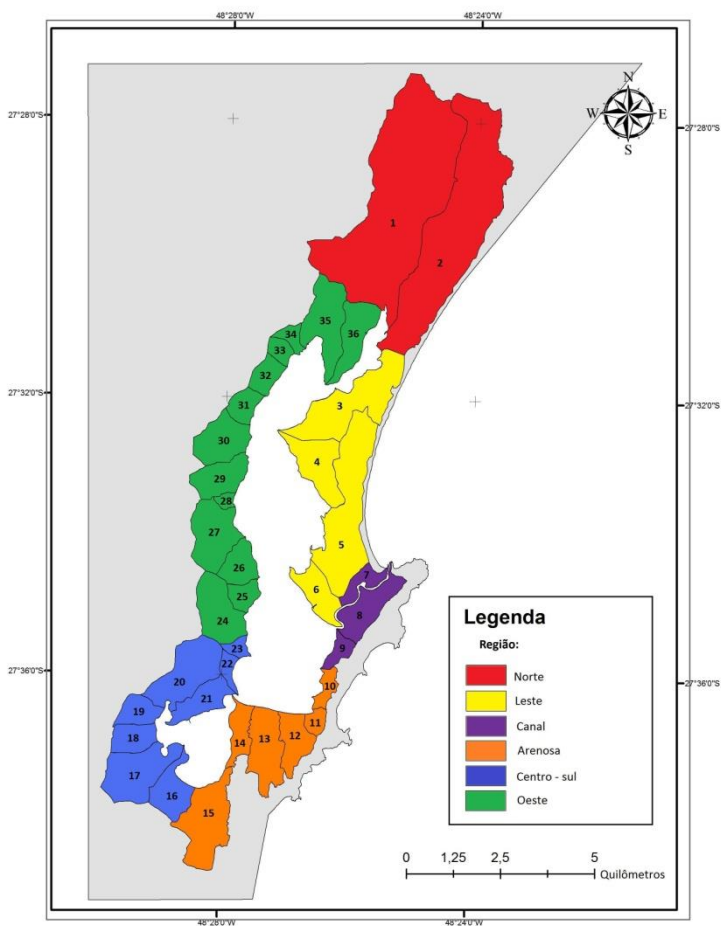


Figura 26: Zoneamento da bacia hidrográfica após agrupamento das sub-bacias.
Fonte: O autor.

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

As ferramentas computacionais utilizadas no desenvolvimento deste trabalho mostraram-se eficazes na manipulação dos dados e na simulação do espaço físico da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, com o uso da metodologia de geoprocessamento proposta, gerando dados confiáveis das características do terreno, os quais foram validados fazendo um paralelo com um trabalho de visualização em campo de dados georeferenciado por GPS desenvolvido pelo LAHIMAR.

Observou-se que é significativamente importante, para este tipo de estudo, uma verificação em campo, confrontando os valores teóricos obtidos no sensoriamento remoto com os dados práticos, validando desta maneira os resultados, o que dá consistência e veracidade ao trabalho, aproximando o estudo teórico ao que acontece na prática.

Foi possível fazer a divisão da bacia hidrográfica em sub-bacias, em seguida fazer o agrupamentos das sub-bacias semelhantes de acordo com os parâmetros estudados, reduzindo o número total, o que simplifica na manipulação e análise destas mesmas.

Por fim, fez-se a setorização da bacia hidrográfica em zonas de mesmas características e baseado em uma análise estatística da distribuição dos valores obtidos para os parâmetros estudados. Sendo assim, com os resultados obtidos, foi possível criar uma base de dados que pode servir de auxílio no manejo e no planejamento da bacia hidrográfica e para futuras análises e estudos no local.

Com as técnicas em geoprocessamento aplicadas neste trabalho, foi possível avaliar, de acordo com outros trabalhos desenvolvidos neste local, que a zona Norte, composta pelas sub-bacias João Gualberto e Rio Vermelho, é a que possui maior relevância em termos hidrológicos.

O setor Norte, com apenas as 2 maiores sub-bacias, é responsável por aproximadamente 36% do aporte hidrológico no corpo hídrico influenciando diretamente a hidrodinâmica da laguna, sendo que este valor depende da intensidade da precipitação incidente. Em seguida vem os setores Oeste e Centro-Sul, que totalizam 21 sub-bacias (13 da zona Oeste e 8 da zona Centro-Sul) e um total de cerca de 43% do volume escoado total.

Chegou-se ao resultado final com a bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição segmentada em 36 sub-bacias, agrupadas em 6 grupos distintos, tendo a área total da bacia de 61,77 km², valor de CN_{II} médio igual a 60, declividade médio do talvegue de 0,180 m/m, urbanização

média de 9,1%, embora é conhecido que a urbanização encontra-se localizada em 4 regiões.

E o volume final de água escoado pelas sub-bacias para dentro da laguna, embora não tenha-se feito neste trabalho um estudo quantitativo para determinar a importância dessas contribuições, pelos valores apresentados, pode-se presumir que ao ocorrer eventos de precipitação intensas a hidrodinâmica da laguna sofre influência direta das contribuições provenientes destes aportes, principalmente das duas bacias situadas no setor Norte.

7. REFERÊNCIAS

- ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L. **Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista**. Revista Caminhos da Geografia, v.8 (n.21), p.46-58 , 2007.
- BOHNAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS**. Ottawa: Pergamom, 1996.
- CARUSO JR., F. **Mapa Geológico da Ilha de Santa Catarina**. Porto Alegre: Centro de Geologia Costeira e Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993.
- CAVALLARI, R. L. **A importância de um Sistema de Informação Geográfica no Estudo de Microbacias Hidrográficas**. Revista Científica Eletrônica de Agronomia, v. 6, n. 11, 2007.
- CECÍLIO, R. A.; REIS, E. F. **Manejo de bacias hidrográficas**. Vitória, Espírito Santo: Universidade Federal do Espírito Santo, 2006.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia** (2ª ed.). São Paulo: Edgard Blucher, 1980.
- COLLARES, E. **Avaliação de alternativas em redes de drenagem de sub-bacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: aplicação na bacia hidrográfica do Rio Capivari - SP**. São Carlos, São Paulo: Universidade de São Paulo, 2000.
- EMBRAPA. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Emrapa Solos, Rio de Janeiro, 2004.
- FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba, CATIE, 1996.
- FRANK, B. **A Bacia da Lagoa da Conceição**. Blumenau: Instituto de Pesquisas Ambientais - Projeto Marca d'Água, 2002.
- GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia** (2. ed.). São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

- HAUFF, S. N. **Diagnóstico ambiental integrado da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1996.
- HORTON, R. E. **Erosion development of streams and their drainage basins: hydrological approach to quantitative morphology**. Geol. Soc. America Bulletin, 1945.
- LAURENTI, A. **Plano de Atividades: “Monitoramento e modelagem hidrológica-hidrodinâmica da Lagoa da Conceição – SC”**. Relatório de Projeto de Pesquisa, Florianópolis. 2011.
- LIMA, W. P. **Princípios de manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba, São Paulo: Universidade de São Paulo, 1976.
- MAKOWIECKY, N. **Participação Social: Estratégias de Legitimação do Plano Diretor**. Florianópolis: Tese de doutorado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
- MARTINS, F. B.; et al. **Zoneamento Ambiental da sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena**. v.11, pp. 315-322, jul./set. de 2005.
- NETO, V. B. **Caracterização geomorfométrica da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, Florianópolis - SC**. Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, SC, 2007.
- ODRESKI, L. F. (2007). **Alterações da Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição**. Florianópolis, SC, 2007.
- ODRESKI, L. F. **Classificação da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição em microbacias e determinação do Curve Number (CN) utilizando técnicas de geoprocessamento e dados de sensoriamento remoto - Florianópolis - SC**. Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, SC, 2010.
- ODRESKI, L. F. **Influência hidrológica nos processos hidrodinâmicos da Lagoa da Conceição, Florianópolis - SC**. Dissertação

- (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2012.
- PINTO, N. L.; HOLTZ, A. C.; MARTINS, J. A. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgar Blucher, 2003.
- PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. Universidade de São Paulo, São Paulo: 4ª edição, 1999.
- SANTANA, D. P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Embrapa Milho e Sorgo , n. 30, 2003.
- SILVA, M. L. **Análise da Qualidade Ambiental Urbana da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição**. Florianópolis, Santa Catarina: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 2002.
- SILVEIRA, A. L. **Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica**. ABRH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 2ª ed., 1997.
- TASSI, R.; et al. **Determinação do parâmetro CN para sub-bacias urbanas do Arroio Dilúvio - Porto Alegre/RS**. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento, 2002.
- TEODORO, V. L.; et al. **O conceito da bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local**. Revista Uniara , n. 20, 2007.
- TONELLO, K. C. **Análise Hidroambiental da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães**. Viçosa, Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 2005.
- TUCCI, C. E. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**(4ª ed.). Porto Alegre, Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.
- User's Manual of HEC-GeoHMS**. Davis, California: US Army Corps of Engineering - Hydrologic Engineering Center, Julho 2000.

VILLELA, S. M., & MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para Análise Ambiental.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

8. ANEXOS

Apêndice A: Gráficos dos parâmetros analisados com seus respectivos valores.

Os gráficos apresentados neste item foram desenvolvidos para a bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, após passarem pelo agrupamento das sub-bacias e por um zoneamento, desenvolvidos nos itens 5.5 e 5.5.1 respectivamente. A Figura 27 a seguir mostra a legenda aplicada para o Gráfico 8 e para os Gráfico 10 à Gráfico 15.



Figura 27: Legenda da setorização da bacia hidrográfica.

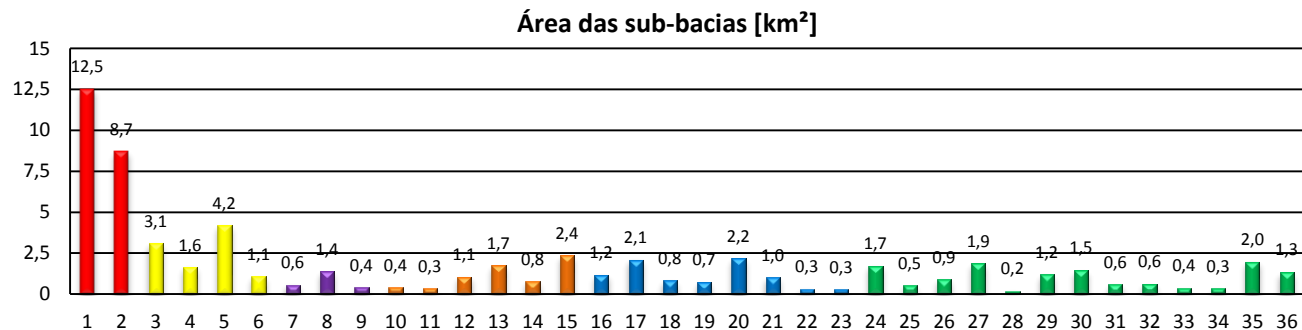


Gráfico 8: Área de cada sub-bacias, em km², após realizado o agrupamento.

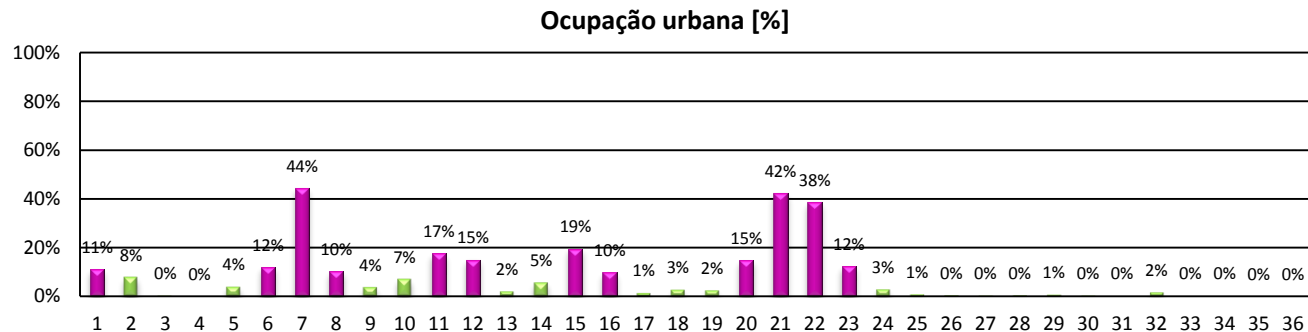


Gráfico 9: Ocupação Urbana em porcentagem para cada uma das 36 sub-bacias após realizado o agrupamento.

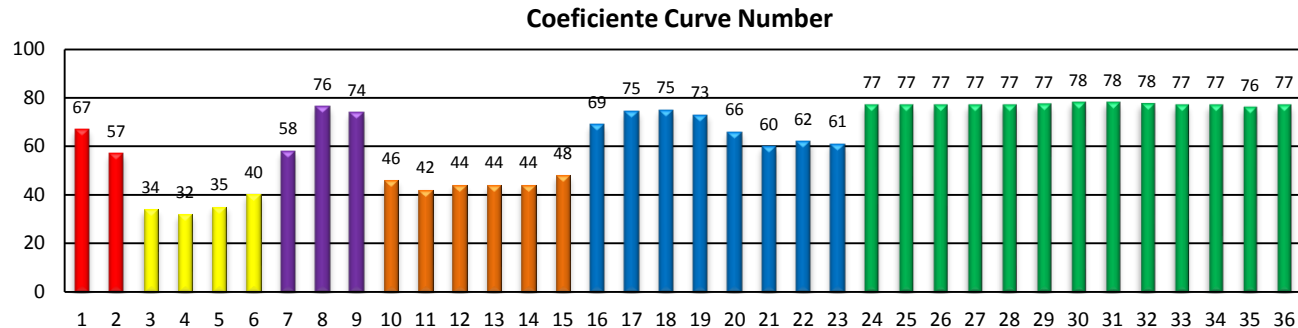


Gráfico 10: Coeficiente Curve-Number (CN_{II}) para cada uma das 36 sub-bacias após realizado o agrupamento.

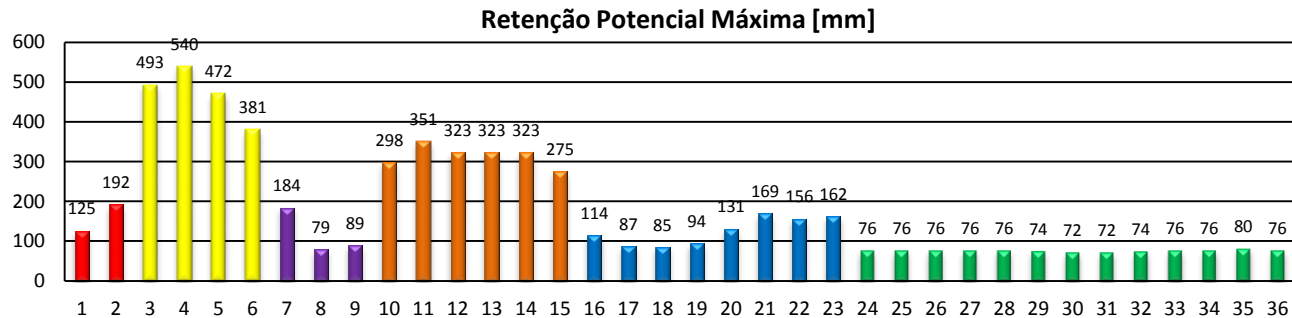


Gráfico 11: Coeficiente de Retenção Potencial Máxima (S_n) para cada uma das 36 sub-bacias após realizado o agrupamento.

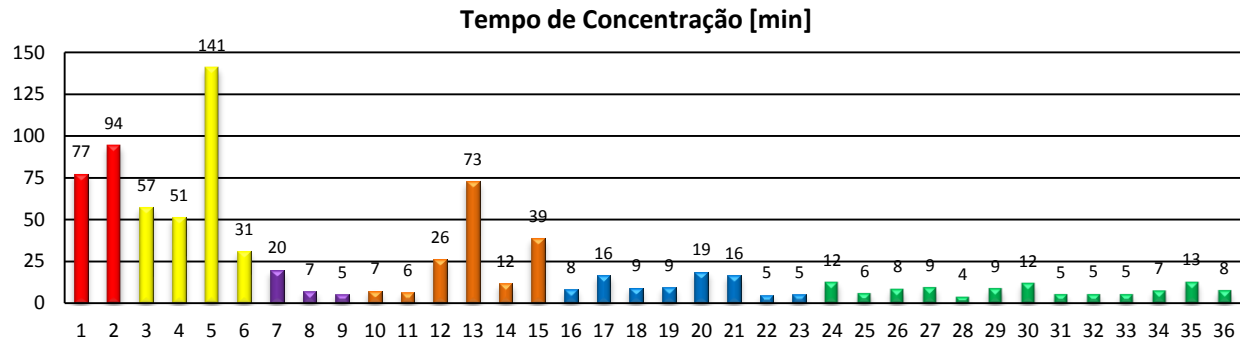


Gráfico 12: Tempo de Concentração (t_c), em minutos, para cada uma das 36 sub-bacias após realizado o agrupamento.

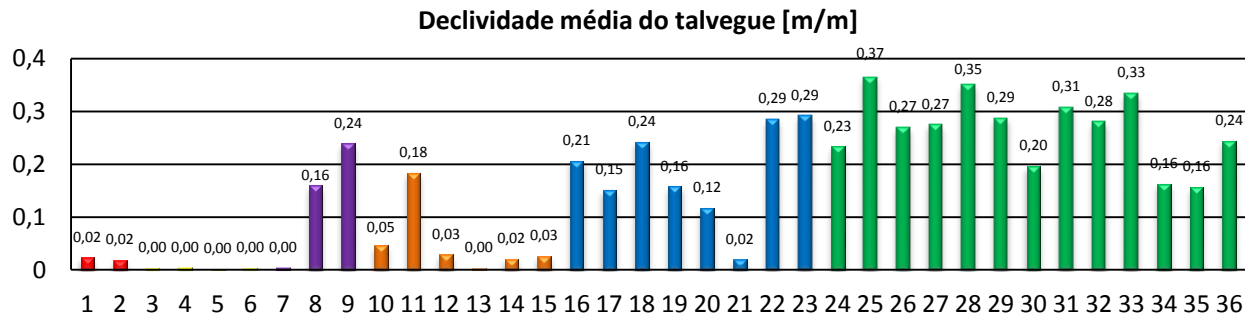


Gráfico 13: Declividade média do talvegue (S_{tv}), em minutos, para cada uma das 36 sub-bacias após realizado o agrupamento.

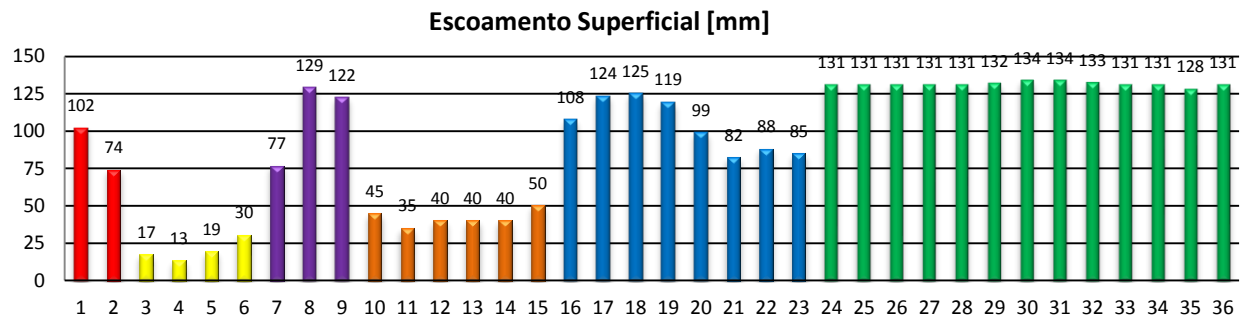


Gráfico 14: Escoamento Superficial para condição CNII e após um evento de Precipitação constante de 200 mm,

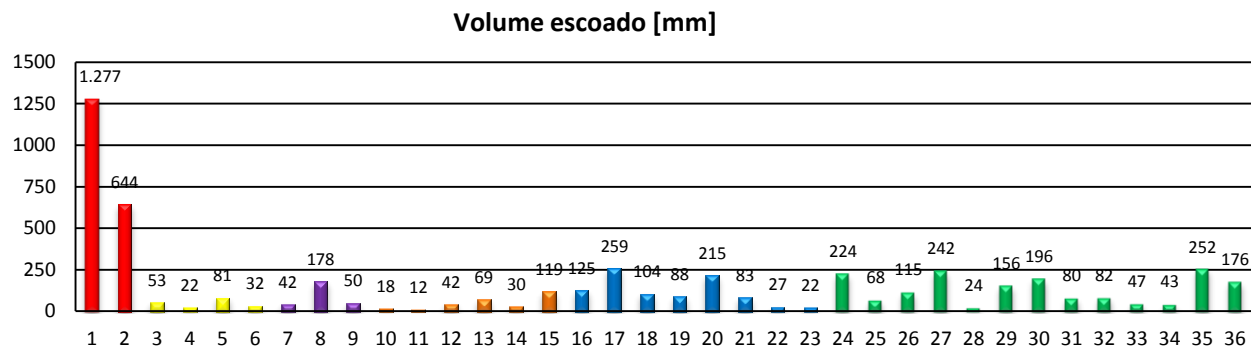


Gráfico 15: Escoamento Superficial para condição CNII e Precipitação constante de 200 mm com duração de 1h.